

MARCOS SCATOLA GONZALEZ

**USO DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO
EM ESTRUTURA METÁLICA**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de Especialista
em Tecnologia e Gestão da Produção

SÃO PAULO

2003

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL E URBANA

MARCOS SCATOLA GONZALEZ

USO DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO
EM ESTRUTURA METÁLICA

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de Especialista
em Tecnologia e Gestão da Produção

SÃO PAULO

2003

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL E URBANA

MARCOS SCATOLA GONZALEZ

USO DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO
EM ESTRUTURA METÁLICA

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de Especialista
em Tecnologia e Gestão da Produção

Área de concentração:
Engenharia de Construção Civil e Urbana

Orientador:
Prof. Dr. Luiz Sérgio Franco

SÃO PAULO

2003

Dedico esta monografia àqueles que, cada um a seu tempo e a seu modo, me incentivaram a aprofundar meus estudos.

- *Meus pais, Leopoldo Gonzalez e Elza Scatola Gonzalez (in memoriam), que sempre me ensinaram a importância dos estudos.*
- *Lina Gonzalez, minha tia, permanente incentivadora.*
- *Arquiteto Paulo César Arcoverde Lellis, da empresa USIMINAS, por sua atenção quando da minha pesquisa.*
- *Professores Mercia Maria S. Bottura de Barros e Luiz Sérgio Franco, pela paciência e dedicação de mestres.*
- *Maria Cecília, minha esposa, e André e Ana Beatriz, meus filhos, de quem tenho roubado horas preciosas em favor de meu aperfeiçoamento profissional.*

Deixo aqui, por meio desta monografia, um forte abraço a todos, que me foram tão queridos e importantes.

RESUMO

A execução da alvenaria de vedação apresenta uma demanda de aprimoramentos e técnicas capazes de atender às necessidades de industrialização e racionalização da construção civil. Embora as estruturas de apoio tenham evoluído ao longo dos anos e incorporado novas tecnologias de cálculo e execução, a velha alvenaria continua a ser tratada pela engenharia como um elemento simples e sem tecnologia, bastando utilizar a “técnica cultural” existente. A introdução de lajes nervuradas e planas com grandes vãos, das estruturas de aço e estruturas mistas, na área de edificações, gera a necessidade de novas soluções e melhoria das interfaces alvenaria - estrutura, respeitando os limites de cada material. Apesar dos avanços no cenário mundial, a tecnologia tão eficaz de estrutura metálica com fechamentos em painéis ou mesmo com alvenarias tem sido pouco explorada no Brasil. O conservadorismo dos agentes envolvidos com a construção civil, a falta de conhecimento das alternativas e a escassez de informações resultam em um círculo vicioso, responsável em grande parte pela não exploração da potencialidade destes sistemas.

ABSTRACT

The execution of the masonry walls shows a lack of improvement to fulfill the needs of civil construction industrialization and rational utilization. Despite the evolution of the support structures in the last years and the acquisition of new techniques of calculation and execution, the old masonry continues to be reported by engineers as a simple element with no technology, only requiring "cultural techniques". The introduction of flat and irregular flagstones with great openings, the metal and mixed structures in the construction field required new solutions as well as improvement in the interface masonry/structure taking into consideration the limits of each material. Although the improvements in the global scenario, the efficient metal structure with panels or masonry has not been appropriately explored in Brasil. The conservative attitude of the people involved in the civil construction and the lack of information and knowledge of alternatives go round in circles, and are responsible for not exploring the potential of these systems.

SUMÁRIO

Página

RESUMO

ABSTRACT

CAPÍTULO I INTRODUÇÃO	08
CAPÍTULO II CONCEITOS SOBRE ALVENARIA	11
2.1 Estrutura e dimensionamento das alvenarias	11
2.2 Classificação das alvenarias	13
CAPÍTULO III CONSTRUÇÃO METÁLICA	18
3.1 Vantagens do aço na Construção Civil	19
3.2 Adequação e condições de uso	22
3.2.1 Corte	22
3.2.2 Conformação a frio	22
3.2.3 Conformação a quente	23
3.2.4 Ligações soldadas	23
3.2.5 Ligações parafusadas	23
3.3 Estruturas revestidas	24
3.4 Estruturas aparentes	24
3.5 Projeto – Detalhamento	25
3.6 Ligações	26
3.7 Pesos estimados por tipo de edificação	27
3.8 Fechamentos	28

CAPÍTULO IV ALVENARIAS DE VEDAÇÃO PARA ESTRUTURA METÁLICA	32
4.1 Ligações da alvenaria com a estrutura de aço	32
4.1.1 Ligação alvenaria e pilar	33
4.1.2 Ligação vinculada semi-rígida	33
4.1.3 Ligação desvinculada deformável	36
4.1.4 Ligação alvenaria e viga	38
4.1.5 Ligação vinculada semi-rígida (vãos < 6,5 m)	38
4.2 Alvenaria racionalizada	39
4.3 Recebimento da estrutura metálica	40
4.4 Preparação da superfície da estrutura para receber a alvenaria	41
4.5 Execução da alvenaria	42
4.5.1 Locação	42
4.5.2 Elevação da alvenaria	45
4.5.3 Fixação da alvenaria	48
4.6 Execução dos detalhes de construção	48
4.6.1 Aberturas	49
4.6.2 Embutimento	51
4.6.3 Juntas de controle	52
4.7 Inspeção e avaliação da execução da alvenaria	53
4.8 Estabilidade das alvenarias de vedação nas estruturas metálicas	54
CAPÍTULO V ESTUDO DE CASO	56
5.1 Descrição do estudo de caso	56
5.1.1 Obras visitadas	59
5.1.2 O que é o sistema	59
5.1.3 Etapas da obra	60
5.2 Análise da fase do projeto	63
5.3 Visita às obras em construção e concluídas	67
CONCLUSÃO	74

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXOS	79
ANEXO I – Normas Técnicas Pertinentes	80
ANEXO II – Glossário da área de execução de alvenaria	82

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Classificação quanto ao número de ligações	15
Figura 2 – Exemplos de detalhes do projeto	26
Figura 3 – Ligações	27
Figura 4 – Exemplos de ligações vinculadas semi-rígidas	34
Figura 5 – Ligações vinculadas semi-rígidas	34
Figura 6 – Ligações vinculadas semi-rígidas	35
Figura 7 – Ligações vinculadas semi-rígidas	36
Figura 8 – Ligações desvinculadas deformáveis com utilização de cantoneiras	37
Figura 9 – Exemplo de ligação desvinculada deformável com utilização de pilar em chapa dobrada	37
Figura 10 – Sistema semi-rígido	38
Figura 11 – Preparação da estrutura para receber alvenaria	41
Figura 12 – Exemplo de projeto de locação	43
Figura 13 – Exemplo de locação	44
Figura 14 – Foto de locação	45
Figura 15 – Alinhamento na direção horizontal	46
Figura 16 – Juntas horizontais preenchidas	47
Figura 17 – Espaçamento entre a alvenaria e a estrutura	48
Figura 18 – Exemplo de contraverga	49
Figura 19 – Exemplo de abertura que não atinge a viga metálica	50
Figura 20 – Exemplo de verga	51
Figura 21 – Pilarete duplo	53
Figura 22 – Enrijecedores	55
Figura 23 – Fachada de prédio do projeto Usiteto	56
Figura 24 – Planta baixa projeto Cohab/MG	58
Figura 25 – Execução das fundações	60
Figura 26 – Estrutura metálica	61
Figura 27 – Fechamentos	62
Figura 28 – Acabamento interno	62
Figura 29 – Detalhe das vergas dos peitoris e de amarração da alvenaria com a viga	64
Figura 30 – Detalhe de amarração da alvenaria com o pilar	65
Figura 31 – Detalhe das cantoneiras duplas	66
Figura 32 – Detalhe das amarrações do painel de alvenaria x pilar	68
Figura 33 – Detalhe da execução do painel de alvenaria	69
Figura 34 – Detalhes de amarração do painel de alvenaria x viga superior	70
Figura 35 – Detalhe das vergas dos peitoris	71
Figura 36 – Detalhe da pintura das juntas voltadas para o exterior	72
Figura 37 – Fachada de prédio concluído – Campo Limpo, São Paulo	73

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 – Alguns limites de deformações admissíveis nas estruturas	13
Tabela 2 – Tipos de parafusos	24
Tabela 3 – Pesos estimados por tipo de edificação	28
Tabela 4 – Valores recomendados na execução de vergas e contravergas	50
Tabela 5 – Controle das condições para a execução da alvenaria (check-list)	54

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

Desde o século XVIII, quando se iniciou a utilização de estruturas metálicas na construção civil até os dias atuais, o aço tem possibilitado aos arquitetos, engenheiros e construtores, soluções arrojadas, eficientes e de alta qualidade.

Das primeiras obras - como a Ponte Ironbridge na Inglaterra, de 1779 - aos ultramodernos edifícios que se multiplicaram pelas grandes cidades, a arquitetura em aço sempre esteve associada à idéia de modernidade, inovação e vanguarda, traduzida em obras de grande expressão arquitetônica e que invariavelmente traziam o aço aparente.

No entanto, as vantagens na utilização de sistemas construtivos em aço vão muito além da linguagem estética de expressão marcante; redução do tempo de construção, racionalização no uso de materiais e mão de obra e aumento da produtividade, passaram a ser fatores chave para o sucesso de qualquer empreendimento (COELHO, 2001).

Essas características, que transformaram a construção civil no maior mercado para os produtores de aço no exterior, começam agora a serem percebidas no Brasil.

A competitividade da construção metálica tem possibilitado a utilização do aço em obras como: edifícios de escritórios e apartamentos, residências, habitações populares, pontes, passarelas, viadutos, galpões, supermercados, shopping centers, lojas, postos de gasolina, aeroportos e terminais rodo-ferroviários, ginásios esportivos, torres de transmissão, etc.

O sistema construtivo em aço apresenta vantagens significativas sobre o sistema construtivo convencional:

✓ A tecnologia do aço confere aos arquitetos total liberdade criadora, permitindo a elaboração de projetos arrojados e de expressão arquitetônica marcante. As seções dos pilares e vigas de aço são substancialmente mais esbeltas do que as equivalentes em concreto, resultando em melhor aproveitamento do espaço interno e aumento da área útil.

✓ A estrutura metálica mostra-se especialmente indicada nos casos onde há necessidade de adaptações, ampliações, reformas e mudança de ocupação de edifícios. Além disso, torna mais fácil a passagem de utilidades como água, ar condicionado, eletricidade, esgoto, telefonia, informática, etc.

✓ O sistema construtivo em aço é perfeitamente compatível com qualquer tipo de material de fechamento, tanto vertical como horizontal, admitindo desde os mais convencionais (tijolos e blocos, lajes moldadas in loco) até componentes pré-fabricados (lajes e painéis de concreto, painéis "dry-wall", etc).

✓ A fabricação da estrutura em paralelo com a execução das fundações, a possibilidade de se trabalhar em diversas frentes de serviços simultaneamente, a diminuição de fôrmas e escoramentos e o fato da montagem da estrutura não ser afetada pela ocorrência de chuvas, pode levar a uma redução de até 40% no tempo de execução quando comparado com os processos convencionais.

No Brasil, os processos tradicionais de vedação ainda são preponderantes. A adoção efetiva de estruturas metálicas está, em grande medida, condicionada ao desenvolvimento de sistemas construtivos inovadores ou à adaptação de sistemas construtivos racionalizados já existentes (PEREIRA et al., 2000). Como o sistema de vedação é extremamente importante dentro do processo construtivo, criou-se a necessidade de um maior conhecimento da utilização da alvenaria diretamente nessa estrutura, uma vez que o concreto armado sempre foi a base para tudo.

Embora as estruturas de apoio ao longo dos anos tenham evoluído e incorporado novas tecnologias de cálculo e execução, a velha alvenaria continua a ser tratada pela engenharia como um elemento simples e sem tecnologia, bastando utilizar a “técnica tradicional” existente. A introdução de lajes nervuradas e planas com grandes vãos das estruturas de aço e estruturas mistas na área de edificações gera a necessidade de novas soluções e melhoria das interfaces alvenaria e estrutura, respeitando os limites de cada material.

A execução da alvenaria de vedação apresenta uma demanda de aprimoramento e técnicas capazes de atender às necessidades de industrialização e racionalização da construção civil. Este trabalho pretende dar uma contribuição aos estudos a respeito da alvenaria de vedação e seus sistemas complementares no contexto destas duas diretrizes da engenharia moderna.

Dentro deste objetivo, pretende-se apresentar critérios utilizados na concepção do projeto de alvenaria na interface com estrutura metálica e critérios de controle de execução das interfaces na obra.

Para a execução do trabalho, optou-se pelo método de pesquisa bibliográfica e apresentação de estudo de caso de empresa que utiliza o sistema com sucesso.

CAPÍTULO II CONCEITOS SOBRE ALVENARIA

As alvenarias são constituídas por elementos pré-industrializados, como tijolos maciços de barro cozido, tijolos laminados, blocos cerâmicos, blocos de concreto etc., unidos entre si por juntas de argamassa. Sua principal função é estabelecer a separação entre ambientes, especialmente a alvenaria externa, que tem a responsabilidade de separar os ambientes interno e externo, atuando como freio, barreira e filtro seletivo e controlando uma série de ações e movimentos complexos, quase sempre muito heterogêneos (SIQUEIRA, 1999).

As características desejáveis da alvenaria são, de maneira geral:

- Resistência à umidade e aos movimentos térmicos;
- Resistência à pressão do vento;
- Isolamento térmico e acústico;
- Resistência à infiltração de água pluvial;
- Controle da migração de vapor de água e regulação da condensação;
- Base ou substrato para revestimentos em geral;
- Segurança para usuários e ocupantes;
- Adequação e divisão de ambientes.

2.1 Estrutura e dimensionamento das alvenarias

De acordo com a utilização e função, as alvenarias podem ser classificadas como resistentes ou de vedação. São denominadas “alvenarias resistentes” as alvenarias destinadas a absorver as cargas das lajes e sobrecarga, sendo necessário para o seu dimensionamento a utilização da NBR 10837 e NBR 8798 (Anexo I), observando que sua espessura nunca deverá

ser inferior a 14,0 cm (espessura do bloco) e resistência à compressão mínima, no caso de blocos de concreto, $f_{bk} \geq 4,5$ MPa.

As “alvenarias de vedação” são aquelas destinadas às separações de ambientes. São consideradas apenas de vedação por trabalhar no fechamento de áreas sob estruturas, constituindo-se como parte do subsistema de vedação vertical, sendo necessários cuidados básicos para o seu dimensionamento e estabilidade.

Como decorrência dos grandes avanços tecnológicos das estruturas de concreto e aço, com conseqüente aumento dos vãos entre os pilares, tornou-se recomendável projeto cuidadoso das alvenarias, sua estrutura e dimensionamento, com o objetivo de evitar problemas advindos das seguintes possíveis interferências:

- Deformações imediatas devido à deformação da estrutura;
- Deformações em função da carga permanente;
- Deformação futura (aproximadamente 1000 dias, para estruturas de concreto);
- Variação da umidade e temperatura sobre a estrutura;
- Módulo de elasticidade real;
- Análise global das deformações (os valores previstos para flecha das estruturas geralmente interferem nas alvenarias).

É responsabilidade da engenharia o exato dimensionamento destas estruturas e seus complementos (alvenarias, esquadrias, revestimentos, etc). Os engenheiros projetistas de estrutura deverão apresentar com mais precisão os valores das flechas imediatas em qualquer região das lajes e conseqüentemente em longo prazo, não apenas a momentos refletores e reação de apoio (LOPES, 2001).

Os limites de fissuração dos painéis de alvenaria de vedação, em função dos valores de flecha, mostram a possibilidade de problemas em números muito inferiores ao L/300 (flecha admissível) adotada na NBR 6118 (Anexo I), principalmente em lajes planas e pretendidas.

Segundo o Centre Scientific et Technique de la Construction (CSTC, 1980) o limite para deformação da estrutura suporte, após a execução das alvenarias com abertura, corresponde a L/1000 e L/500 para as alvenarias sem aberturas. O American Concrete Institute (ACI, 1979) indica L/600 para deformação da estrutura suporte após a execução da alvenaria.

Tabela 1 - Alguns limites de deformações admissíveis nas estruturas

Vão entre pilares (m)	Flecha admissível para estrutura (cm) L/300	Flecha admissível para alvenaria (cm)					
		CSSTC		ACI		POLI-USP	
		c/abert. L/1000	s/abert. L/500	c/abert. L/600	s/abert. L/600	c/abert. L/1000	s/abert. L/1000
4.0	1.33	0.40	0.80	0.66	0.66	0.40	0.15
6.0	2.00	0.60	1.20	1.00	1.00	0.60	0.23
8.0	2.66	0.80	1.60	1.33	1.33	0.80	0.30

Cstc – Centre Scientific et Technique de la Construction

ACI – American Concrete Institute

POLI-USP – Escola Plitécnica da USP

Fonte: Manual da Construção em Aço, Alvenarias

2.2 Classificação das alvenarias

Em uma edificação de estrutura de aço, as cargas atuantes são transmitidas diretamente para os elementos estruturais, não sendo necessário que as paredes internas e/ou externas tenham função estrutural.

Por este motivo, as classificações a seguir levam em consideração principalmente o modelo de estrutura metálica proposto, buscando a otimização dos recursos disponíveis no sistema de dimensionamento, principalmente os sistemas de fixação em função dos vãos.

Como já definido anteriormente, o termo “Alvenaria de Vedação” se refere às paredes que funcionam apenas como divisórias e que não representam vínculos estruturais com as estruturas periféricas. Apesar disto, é comum no Brasil e em países com técnicas construtivas tecnologicamente mais tradicionais, que as alvenarias de vedação apresentem também vínculos estruturais com a estrutura periférica, ainda que estas não estejam dimensionadas para suportar nenhum esforço transmitido por estes elementos.

No presente estudo, serão apresentadas as particularidades das ligações das alvenarias com as estruturas reticuladas (pré-moldadas, aço, concreto armado, etc.) e suas condições de uso sob o ponto de vista construtivo, ou seja, quando o elemento desempenha função apenas de vedação.

Classificação quanto à função:

- Alvenaria com função estrutural;
- Alvenaria sem função estrutural (vedação);
- Alvenarias divisórias de bordo livre (muros, platibandas, etc.);
- Alvenarias especiais (acústica, térmica, impactos, etc.)

Classificação quanto à espessura:

- Alvenaria 0,10 m;
- Alvenaria 0,15 m;
- Alvenaria 0,20 m.

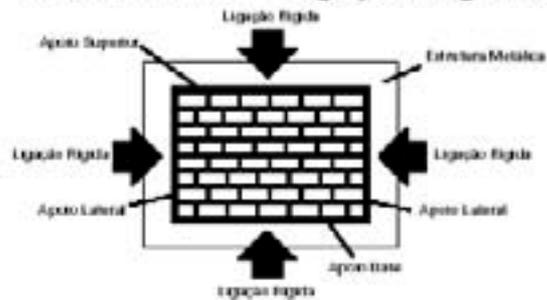
Ou outras, em função da espessura do bloco e do revestimento adotado.

Classificação quanto ao sistema de ligação alvenaria/estrutura:

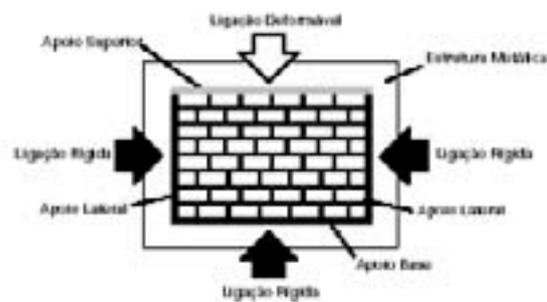
- Sistema rígido – ligações rígidas em 4 bordos;
- Sistema semi-rígido – ligações rígidas em 3 bordos;
- Sistema deformável – ligação rígida em 1 bordo.

Figura 1: Classificação quanto ao número de ligações

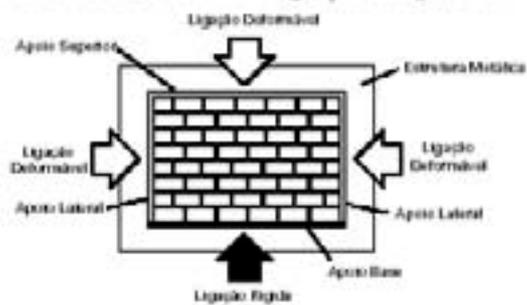
- Alvenaria com 4 ligações rígidas:



- Alvenaria com 3 ligações rígidas:



- Alvenaria com 1 ligação rígida:



Fonte: Manual de Construção em aço – Alvenaria, prof. Otávio L. do Nascimento

Classificação quanto ao tipo exposição:

- Interna revestida;
- Interna aparente;
- Externa revestida;
- Externa aparente;
- Especiais.

Classificação quanto ao tipo de elemento de vedação:

- Alvenaria (elementos unidos entre si na obra);
- Painéis de alvenaria.

Classificação quanto ao tipo de bloco:

- Componentes naturais:
 - a) Pedras irregulares – usadas em estado natural, encaixadas entre si ou assentadas com argamassa;
 - b) Pedras regulares – usadas em estado natural ou trabalhadas, com formas regulares ou não, assentadas com juntas secas ou argamassadas, alinhadas ou desencontradas (travadas).
- Componentes industrializados:
 - a) Blocos de concreto - São elementos produzidos com dimensões de 19x19x39 cm e 14x19x39 cm, entre outras, vazados com resistência a compressão de até 30 MPa, assentados com argamassa.
 - b) Blocos sílico-calcários - São elementos produzidos com areia e cal viva endurecidas ao vapor sobre pressão elevada, com as mesmas características dos blocos de concreto.
 - c) Blocos de concreto celular autoclavado - São elementos de concreto leve, fabricados a partir de uma mistura de cimento, cal, areia e pó de alumínio, autoclavado, que permite a formação de um produto de elevada porosidade, leve, resistente e estável. O produto é apresentado em blocos ou painéis, com dimensões e espessuras variadas, que permitem a execução de paredes de vedação e lajes.
 - d) Tijolos cerâmicos - Elementos fabricados por prensagem ou extrusão da argila, que após um processo de pré-secagem natural, passa pelo processo de queima controlada sob alta temperatura, produzindo blocos maciços ou furados com dimensões padronizadas e normatizadas. São tradicionalmente utilizados nas alvenarias de vedação nas construções.

- e) Blocos de solo-cimento - São elementos fabricados a partir da massa de solos argilosos ou areno-argilosos mais cimento Portland, com baixo teor de umidade, em prensa hidráulica, formando tijolos maciços. Podem ser construídas também, paredes monolíticas, através do apiloamento da massa em formas deslizantes, entre pilares guia.

Os materiais cerâmicos de vedação de uso mais comum atualmente são tijolos de 4, 6 e 8 furos e ainda, em menor frequência, os tijolos de 2 furos e maciços.

CAPÍTULO III - CONSTRUÇÃO METÁLICA

O aço tem possibilitado aos arquitetos, engenheiros e construtores soluções arrojadas, eficientes e de alta qualidade, desde o século XVIII, quando se iniciou a utilização de estruturas metálicas na construção civil, até os dias atuais.

A arquitetura em aço sempre esteve associada à idéia de modernidade, inovação e vanguarda, traduzida em obras de grande expressão arquitetônica. No entanto, as vantagens na utilização de sistemas construtivos em aço vão muito além da linguagem estética de expressão marcante. A redução do tempo de construção, a racionalização no uso de materiais e da mão de obra, além do aumento da produtividade, passaram a ser fatores chave para o sucesso de qualquer empreendimento (COELHO, 2001).

A multiplicidade da construção metálica possibilita a utilização do aço em obras como: edifícios de escritórios e de apartamentos, residências, habitações populares, pontes, passarelas, viadutos, galpões, supermercados, shopping centers, lojas, postos de gasolina, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários, ginásios esportivos, torres de transmissão, etc. Segundo TARNOCZY JR (1989), existem alguns fatores que servem de guia para a implantação da estrutura metálica:

- Lugares de difícil acesso e grandes aclives são propícios para a estrutura metálica, pois, em vez de pilares de grande altura, a estrutura pode ser resolvida por balanços de grandes vãos, reduzindo as fundações;
- Terrenos com pouca resistência, com fundações muito profundas e concentradas, são ideais para receber estrutura metálica, devido ao seu reduzido peso próprio;
- A estrutura metálica proporciona o aumento do número de pavimentos de edifícios com facilidade e, dependendo do caso, as fundações existentes são capazes de absorver o acréscimo de carga;

- O emprego da estrutura metálica mostra-se interessante pelo fato de possibilitar um número maior de pavimentos para um determinado gabarito, devido ao vigeamento de menor altura; outra vantagem é a ausência de ruído e de pó durante a montagem, o que faz do aço o material ideal para ampliação de hospitais;
- A demolição da estrutura metálica não a inutiliza e seu sucateamento não contribui para o custo da demolição.

Essas características, somadas à redução de custos e prazos de execução, transformaram a construção civil no maior mercado para os produtores de aço no exterior e começam agora a ser percebidas também no Brasil.

3.1 Vantagens do aço na Construção Civil

O sistema construtivo em aço é baseado em processos construtivos simples e modernos que, apesar de utilizarem técnicas industriais, não demanda o uso de equipamentos sofisticados. A soma destas características conduz a uma grande eficiência construtiva, que garante a melhor remuneração dos insumos e da mão-de-obra empregada. Também os operários desfrutam de um ambiente de trabalho mais produtivo, já que o sistema de construção metálica só demanda maior deslocamento de pessoal durante a operação de montagem (LOPES, 2001). Outras vantagens significativas sobre o sistema construtivo convencional:

Liberdade no projeto de arquitetura - A tecnologia do aço permite aos arquitetos ampla liberdade para criar, o que pode resultar na elaboração de projetos arrojados e de expressão arquitetônica marcante.

Qualidade e segurança – O perfeito alinhamento da construção permite a encomenda antecipada de outros elementos e favorece a inspeção sistemática da estrutura no

controle de qualidade, o que resulta em maior segurança da construção. A utilização de aços patináveis resistentes à corrosão atmosférica garante maior qualidade à construção.

Maior área útil – Por serem substancialmente mais esbeltas que as de concreto, as seções dos pilares e das vigas de aço resultam no melhor aproveitamento do espaço interno, com conseqüente aumento da área útil, fatores muito importantes para o usuário final, principalmente em garagens.

Flexibilidade - A estrutura metálica é especialmente indicada nos casos em que há necessidade de adaptações, ampliações, reformas e mudança de ocupação de edifícios. Além disso, torna mais fácil a passagem de utilidades como água, ar condicionado, eletricidade, esgoto, telefonia, informática, etc. Este tipo de construção pode ainda ser desmontado e transportado para outro local sem grandes perdas.

Compatibilidade com outros materiais - O sistema construtivo em aço é compatível com qualquer tipo de material de fechamento, tanto vertical como horizontal, admitindo desde os mais convencionais (tijolos, blocos e lajes moldadas in loco), até componentes pré-fabricados (lajes, painéis de concreto, painéis dry-wall, etc.).

Menor prazo de execução - A fabricação da estrutura em paralelo com a execução das fundações, a possibilidade de se trabalhar em diversas frentes de serviços simultaneamente, a diminuição de formas e escoramentos e o fato da montagem da estrutura não ser afetada pela ocorrência de chuvas, pode levar a uma redução de até 40% no tempo de execução quando comparado com os processos convencionais (DIAS, 2000).

Racionalização de materiais e mão-de-obra - O desperdício de materiais em uma obra convencional pode chegar a 25% em peso. A utilização de estrutura metálica possibilita a adoção de sistemas industrializados, fazendo com que o desperdício seja sensivelmente reduzido.

Alívio de cargas nas fundações - Por serem mais leves e resistentes, as estruturas metálicas podem reduzir em até 30% o custo das fundações. O bom alinhamento obtido na construção reduz também os excessos de correções com revestimentos e reboco.

Garantia de qualidade - A fabricação das estruturas metálicas ocorre dentro de uma indústria e conta com mão-de-obra altamente qualificada, o que dá ao cliente a garantia de uma obra com qualidade superior, devido ao rígido controle existente durante todo o processo industrial.

Antecipação do retorno - Em função da maior velocidade de execução da obra, haverá um ganho adicional pela ocupação antecipada do imóvel e pela rapidez no retorno do capital investido.

Organização do canteiro de obras - Como a estrutura metálica é pré-fabricada, há uma melhor organização do canteiro, devido à ausência de grandes depósitos de areia, brita, cimento, madeiras e ferragens, reduzindo também o inevitável desperdício desses materiais. O ambiente limpo e com menor geração de entulho, oferece ainda melhores condições de segurança ao trabalhador, contribuindo para a redução dos acidentes na obra e evitando transtornos nas vias públicas.

Precisão construtiva - Enquanto nas estruturas de concreto a precisão é medida em centímetros, numa estrutura metálica a unidade empregada é o milímetro. Isso garante uma estrutura perfeitamente aprumada e nivelada, facilitando atividades como o assentamento de esquadrias, instalação de elevadores e redução no custo dos materiais de revestimento.

Reciclabilidade - O aço é 100% reciclável e as estruturas podem ser desmontadas e reaproveitadas com menor geração de rejeitos.

Preservação do meio ambiente - A estrutura metálica é menos agressiva ao meio ambiente. Além de reduzir o consumo de madeira na obra, diminui a emissão de material particulado e a poluição sonora gerada pelas serras e outros equipamentos destinados a trabalhar a madeira.

Economia geral – A soma de todas as vantagens até aqui listadas, aliada à escolha adequada do aço, conduz a uma grande economia geral da obra, além de reduzir os custos futuros de conservação da construção.

3.2 Adequação e condições de uso

3.2.1 Corte - Os aços para a construção civil podem ser cortados pelos processos usuais, sejam térmicos (oxi-propano, oxi-acetileno, plasma ou laser) ou mecânicos (guilhotina ou tesoura). Não há necessidade de pré-aquecimento do aço quando a indicação for para o corte térmico em chapas de até 50 mm de espessura. A opção pelo processo mecânico de corte é comum para chapas de espessura não muito superior a 6,30 mm, podendo ser viável em casos especiais de chapas com até 12,50 mm.

3.2.2 Conformação a frio - Os aços para a construção civil com espessura até 12,50 mm podem ser conformados a frio em equipamentos convencionais, tanto para operações de dobramento, como calandragem. Acima desta espessura, a conformação é possível, ainda que não recomendada, em condições especiais e com a utilização de grandes raios de dobramento.

Aços de alta resistência mecânica, como os COS AR COR 500 e ASTM A 572 Grau 50, exigem um esforço maior para sua conformação, apresentando raios de dobramento maiores quando comparados com aços estruturais de menor resistência, como o COS AR COR 400, os COR Civil 300 e 350, o ASTM A36 e o ASTM A 570 Grau 40. Os diâmetros internos mínimos para dobramento (transversal à direção de laminação) são: para espessuras até 6,30 mm, o diâmetro mínimo interno de dobramento recomendado é quatro vezes a

espessura do material; para espessuras de chapa entre 6,30 mm e 12,50 mm, o diâmetro interno mínimo recomendado é seis vezes a espessura do material.

3.2.3 Conformação a quente – A conformação de chapas com espessura acima de 12,50 mm, quando necessária, deverá ser feita a quente, controlando-se a temperatura de aquecimento para que não ultrapasse 900°C. Em casos onde há exigências rigorosas de tenacidade, pode ser necessária a normalização do material, através de tratamento térmico, após a operação de conformação.

3.2.4 Ligações soldadas - Para um maior controle de qualidade, as ligações soldadas devem ser executadas, em sua maioria, em fábrica. É o tipo de ligação ideal para união de peças com geometria complexa. O processo de soldagem mais utilizado é a solda a arco elétrico, que pode ser manual, com eletrodo revestido, ou automática com arco submerso.

3.2.5 Ligações parafusadas - As ligações parafusadas podem utilizar dois tipos de parafusos:

- **Comuns:** apresentam baixa resistência mecânica, sendo utilizados em ligações de peças secundárias, como guarda-corpos, corrimãos, terças e outras peças pouco solicitadas;
- **Alta resistência:** são específicos para ligações de maior responsabilidade. Devido à característica de alta resistência, as ligações geralmente têm um número reduzido de parafusos, além de chapas de ligação menores.

É importante que os parafusos utilizados obedeçam às mesmas especificações dos aços da obra: aços resistentes à corrosão atmosférica requerem parafusos com esta mesma característica. Não é recomendada a utilização de parafusos e porcas galvanizados sem pintura em estruturas de aço carbono comum ou resistentes à corrosão atmosférica. A diferença de potencial eletroquímico entre o revestimento de zinco e o aço da estrutura pode ocasionar uma corrosão acelerada da camada de zinco.

Tabela 2 : Tipos de parafusos

Tipo	Especificação	Resistência à ruptura
Comum	ASTM A 307	41,5 kN/cm ²
Alta Resistência Mecânica	ASTM A 325	82,5 kN/cm ² para Ø ≤ 25,4 mm
Alta Resistência Mecânica e Resistência à Corrosão Atmosférica	ASTM A 325 Tipo 3	72,5 kN/cm ² para Ø > 25,4 mm
Legenda: Ø = diâmetro		

3.3 Estruturas revestidas

Com exceção dos aços COS AR COR, que sob determinadas condições podem ser utilizados sem pintura, todos os demais aços estruturais para a construção requerem algum tipo de revestimento para proteção contra os efeitos da corrosão atmosférica.

Nos países desenvolvidos, a grande maioria das edificações em aço tem a estrutura revestida, o que permite uma redução nos custos dos itens pintura e proteção contra incêndio. Existem várias formas de revestimento, sendo as mais comuns: a utilização de painéis industrializados, projeção de argamassas, encapsulamento com alvenaria ou concreto.

3.4 Estruturas aparentes

Em estruturas metálicas aparentes, recomenda-se a utilização dos aços resistentes à corrosão da família USI SAC (Usiminas) ou COS AR COR (Cosipa). A estrutura aparente poderá eventualmente ficar sem nenhum tipo de pintura quando empregada em atmosfera urbana, rural ou industrial não muito severa.

A viabilidade de utilização da estrutura de aço aparente sem pintura depende de uma análise prévia do local e das condições de utilização, sendo imprescindível que ocorram ciclos alternados de molhamento (chuva e umidade) e secagem (sol e vento) e que o aço esteja exposto a atmosferas que contenham substâncias como SO₂, para que haja a formação da camada de pátina inibidora do processo corrosivo.

Óxidos provenientes de laminação (carepa), resíduos de óleo, graxa e respingos de solda devem ser totalmente removidos para permitir a perfeita formação da pátina, cujo processo pode levar de um a três anos para se completar.

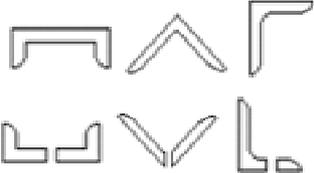
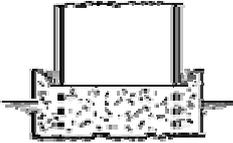
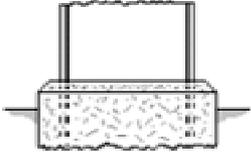
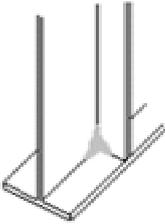
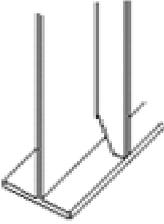
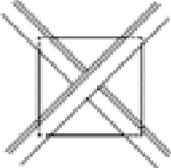
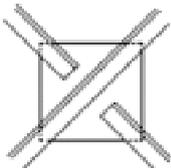
O projeto estrutural deve evitar regiões de estagnação de água e resíduos, pois isso propicia a dissolução da pátina. Se não puderem ser eliminadas do projeto, essas regiões, assim como partes da estrutura não expostas à ação do intemperismo devem ser convenientemente pintadas.

3.5 Projeto - Detalhamento

O bom detalhamento do projeto de estruturas metálicas é fundamental para evitar o surgimento de processos corrosivos. Independentemente do tipo de aço e do esquema de pintura empregados, alguns cuidados básicos na etapa de projeto podem contribuir significativamente para melhorar a resistência à corrosão (Figura 12):

- Evitar regiões de empoçamento de água e deposição de resíduos;
- Prever furos de drenagem em quantidade e tamanho suficientes;
- Permitir a circulação de ar por todas as faces dos perfis, para facilitar a secagem;
- Garantir espaço e acesso para realização de manutenção (pintura etc.);
- Impedir o contato direto de outros metais com o aço para evitar a formação de pares galvânicos e o surgimento de corrosão devido ao "efeito pilha";
- Evitar peças semi-enterradas ou semi-submersas.

Figura 2: Exemplos de detalhes do projeto

Inadequado	Recomendado	Comentários
		Inversão de elementos estruturais e/ou execução de furos de drenagem para se evitar a retenção de água e o acúmulo de pó.
		Evitar a retenção de água e o acúmulo de pó junto às bases.
		Permitir a circulação de ar para evitar a umidificação e o acúmulo de pó.
		Evitar a retenção de água e o acúmulo de pó em frestas.

Fonte: Solução Usiminas para habitação popular – Apresentação 1

3.6 Ligações

Outro ponto importante na etapa de projeto é a definição do sistema de ligação a ser adotado entre os elementos que compõem a estrutura metálica, como vigas, pilares e contraventamentos. É fundamental que os elementos de ligação (chapas, parafusos, soldas etc.) apresentem resistência mecânica compatível com o aço utilizado na estrutura.

Figura 3: Ligações



Fonte: Manual de Construção em Aço – Alvenarias, prof. Otávio L. do Nascimento

A escolha criteriosa entre um sistema de ligação soldado ou parafusado pode significar uma obra mais econômica e tornar a montagem mais rápida e funcional. Estes são alguns aspectos importantes para essa escolha:

- Condições de montagem no local da obra;
- Grau de dificuldade para fabricação da peça;
- Padronização das ligações.

Se a intenção do projeto for deixar as estruturas aparentes, o desenho das ligações assume uma importância maior. O formato, a posição e a quantidade de parafusos, chapas de ligação e nervuras de enrijecimento, são alguns dos itens que podem ter um forte apelo estético se convenientemente trabalhados pelo arquiteto, em conjunto com o engenheiro calculista.

3.7 Pesos Estimados por tipo de edificação

elaboração de planilhas de custos de edificações com estrutura metálica dependem do conhecimento do peso desta estrutura. A tabela a seguir apresenta valores médios estimados em função dos diversos tipos de construção.

Tabela 3: Pesos estimados por tipo de edificação

TIPO DE EDIFICAÇÃO	PESO (kg/m²)	
Edifícios	Até 4 pavimentos, padrão popular	20 a 35
	Até 4 pavimentos, padrão médio/alto	35 a 50
	De 4 a 12 pavimentos	40 a 50
	> 12 pavimentos	45 a 60
Residências		20 a 70
Galpões industriais sem ponte rolante		20 a 35
<i>Shopping Center</i>		50 a 55

3.8 Fechamentos

As estruturas metálicas permitem grande flexibilidade na escolha do sistema de fechamento, tanto horizontal (lajes), quanto vertical (paredes). A especificação dependerá muito do tipo de projeto e de suas características específicas (exigências econômicas, estéticas, necessidade de rapidez de execução etc). Assim, pode-se optar pelo uso das mais variadas soluções.

Horizontais - Dos diversos tipos de lajes empregadas, podemos destacar:

- Laje de concreto moldada in loco;
- Laje modulada de concreto celular;
- Laje modulada protendida;
- Pré-laje de concreto;
- Laje mista;
- Laje de painel de madeira e fibrocimento;
- Laje com forma metálica incorporada - steel deck.

Verticais - Assim como acontece com as lajes, as estruturas metálicas possuem compatibilidade com uma grande diversidade de materiais de vedação. Destacamos abaixo algumas dessas soluções:

- Alvenarias: de tijolos maciços de barro, blocos cerâmicos, blocos de concreto ou de concreto celular;
- Painéis: de concreto, concreto celular, fibro-cimento, aço, gesso acartonado.

É importante deixar claro que não existe nenhum empecilho no uso de estruturas metálicas em conjunto com alvenarias. No entanto, é interessante que o projetista esteja atento a pequenos detalhes que evitarão, no futuro, o possível aparecimento de patologias, como trincas ou fissuras, decorrentes da movimentação diferencial destes materiais.

Entre os detalhes geralmente empregados pode-se destacar:

- Para os pilares: utilização de barras de aço de espera (também conhecida como "ferro cabelo"), com 5 mm de diâmetro e 30 a 40 cm de comprimento, soldadas ao perfil, aproximadamente a cada 40 cm, e solidarizadas à alvenaria durante o seu assentamento;
- Para as vigas: aplicação, entre a estrutura e a alvenaria, de material deformável (cortiça, isopor ou poliestireno), arrematados por mata-juntas ou selantes flexíveis.

Com relação aos demais materiais utilizados em painéis, é interessante consultar os dados técnicos de seus respectivos fabricantes, onde poderão ser encontradas informações úteis com relação às melhores soluções de detalhamento entre a estrutura e o conjunto de vedação.

Resistência ao Fogo - Todo material perde resistência mecânica quando exposto a ação de altas temperaturas, como as que ocorrem em situações de incêndio. Desta forma, o projeto estrutural deve antecipar esta possibilidade, evitando um possível colapso da estrutura

e garantindo a segurança dos ocupantes desta e de edificações próximas, além de minimizar perdas econômicas.

Isenção de proteção contra incêndio - No Estado de São Paulo algumas edificações estruturadas em aço são isentas de proteção contra incêndio:

- Edificações com área total menor ou igual a 750 m²;
- Edificações com até dois pavimentos, cuja área total seja menor ou igual a 1500 m² e carga de incêndio específica inferior ou igual a 700 mj/m², excluindo-se museus, teatros, cinemas, auditórios, boates, restaurantes e clubes sociais;
- Centros esportivos, estações de terminais de passageiros e construções provisórias (circos e assemelhados), com altura inferior a 23 m, exceto as regiões de ocupação distinta;
- Depósitos de baixo risco de incêndio (tijolos, pedras, areias, cimentos, metais e materiais incombustíveis), com altura inferior a 23 m;
- Garagens com ou sem acesso de público, sem abastecimento, com altura até 23 m e abertas lateralmente.

Recomenda-se, no entanto, a consulta às Normas Brasileiras de Proteção ao Fogo, em especial a NBR 14323 (Anexo I), bem como aos regulamentos do Corpo de Bombeiros de cada Estado, para certificar-se da isenção ou não de uma obra quanto à proteção ao incêndio.

Proteção contra incêndio - Existem dois tipos básicos de proteção: ativa (uso de sprinklers, alarmes etc.) e passiva. A proteção passiva abrange aspectos do projeto da edificação (uso de portas corta-fogo, compartimentação dos ambientes etc.) e a proteção dos elementos estruturais contra o fogo. A definição do tipo de proteção é feita na etapa de projeto, assegurando-se assim a especificação do material mais indicado para cada caso.

Entre os materiais mais comumente utilizados, podemos citar:

- Argamassa de asbesto: constituída de fibras de amianto (silicato de magnésio) com cimento. A aplicação se faz por spray;
- Argamassa de vermiculita: argamassa de agregado leve, à base de vermiculita. Aplicação por spray ou com o uso de espátulas;
- Mantas de fibras cerâmicas: utilizadas como revestimento tipo contorno ou como revestimento tipo caixão;
- Mantas de lã de rocha: utilizadas como revestimento tipo contorno ou como revestimento tipo caixão;
- Argamassa composta de gesso e fibras: aplicação por spray;
- Concreto/Alvenaria: revestimento ou encapsulamento da estrutura metálica com concreto ou alvenaria;
- Tinta intumescente: revestimento fogo-retardante que, se submetido ao incêndio, transforma-se em volumosa camada, parecida com uma esponja. É a solução ideal quando há intenção de se deixar a estrutura aparente. Aplicação por pintura.

CAPÍTULO IV - ALVENARIAS DE VEDAÇÃO PARA ESTRUTURA METÁLICA

Observando-se a evolução da construção, vemos que a vedação desempenha dois papéis básicos: o de compartimentação da edificação e de proteção contra as intempéries. A industrialização significou a possibilidade de utilização de outras alternativas e o advento do aço, devido à grande rapidez de montagem, provocou o surgimento de vedações moduladas, pré-fabricadas, dimensionadas para resistir ao meio e às ações naturais (TARNOCZY JR, 1989).

Segundo SOUZA (1988), as alvenarias inseridas no edifício com estruturas de aço, sejam de vedação ou possuindo funcionamento estrutural, tal como na função de contraventamento, estarão submetidas a solicitações às quais terão de resistir.

Para TARNOCZY JR (1989), a interação entre a vedação e a estrutura metálica pode ser abordada sob dois ângulos: construtivo e estrutural. Sob o aspecto construtivo consideram-se todos os tipos de vedação, processos de assentamento, armazenagem, ligação com a estrutura metálica, características geométricas e propriedades físicas. Já sob o aspecto estrutural, destaca-se a participação dos vedos no papel de contraventamento vertical da estrutura.

4.1. Ligações da alvenaria com a estrutura de aço

As ligações utilizadas para unir ou desunir as alvenarias, no contato com a estrutura de suporte, são determinadas pelo tipo de trabalho exigido tanto da alvenaria quanto da estrutura.

Se a alvenaria for solicitada a acompanhar as deformações previstas na estrutura, então a opção será pela ligação vinculada. Ao contrário, se as deformações estão previstas para ocorrer de forma independente, deve-se optar pela ligação desvinculada.

A distância entre os apoios é um dos principais parâmetros para definição do sistema de ligação vinculada ou desvinculada. Vãos de até 6,5m apontam para o tipo vinculada (sistema semi-rígido). Já os vãos maiores de 6,5m requerem ligações do tipo desvinculada (sistema deformável).

4.1.1. Ligação alvenaria e pilar

- O preenchimento das juntas verticais próximas ao apoio com argamassa, contribui para o melhor desempenho da ligação.
- A largura do bloco é fator determinante; a relação mínima da altura útil da parede pela espessura do bloco sem revestimento deve ser ≤ 30 .
- É obrigatória a utilização de argamassa de assentamento com resistência à compressão entre 6 e 8 MPa.
- A tolerância admissível para deslocamento máximo da estrutura onde se apóia a alvenaria, é de $L/1000$ para deformação da estrutura após a execução da alvenaria.

4.1.2. Ligação vinculada semi-rígida - A ligação semi-rígida é aquela em que a alvenaria está solidariamente unida à estrutura, devendo ser empregada em vãos de menos de 6,50 m. Esta também é a ligação indicada para edificações térreas, independentemente do tamanho do vão. Recomenda-se a utilização de telas eletrosoldadas ou o acessório de ligação chamado “ferro-cabelo” ou “fio-cabelo” (barra de aço dobrada com diâmetro de 4,2 a 8 mm), soldado à estrutura, quando possível (ALVARENGA et al., 2002).

Figura 4: Exemplos de ligações vinculadas semi-rígidas



Tela soldada galvanizada



Ferro dobrado de amarração

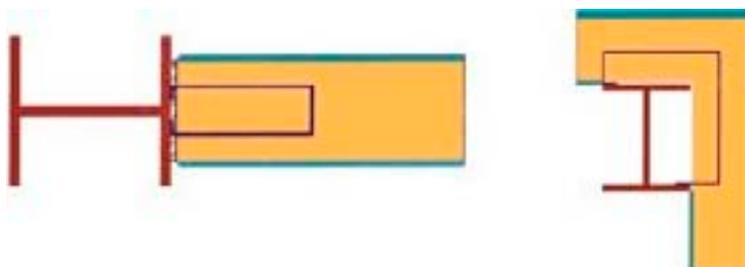
Fonte: Edificações Habitacionais Convencionais Estruturadas em Aço: requisitos e critérios mínimos para financiamento pela Caixa; Caixa Econômica Federal, maio 2002

Regra geral, define-se o tamanho da tela soldada levando em consideração:

- Largura - inferior à largura do bloco, com 1 a 2 cm de sobra nas laterais.
- Comprimento horizontal - no mínimo de 40cm.

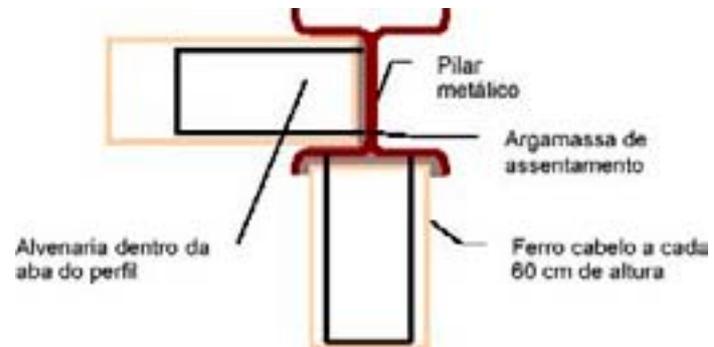
O “ferro-cabelo” pode ter a forma de gancho na extremidade livre ou de um “estribo” de armação, com comprimento mínimo de 50 cm, pois isto melhora a sua ancoragem dentro da argamassa de assentamento. Ambas são geralmente instaladas a cada 60 cm de altura, coincidentes com as fiadas de argamassa de assentamento.

Figura 5: Ligações vinculadas semi-rígidas



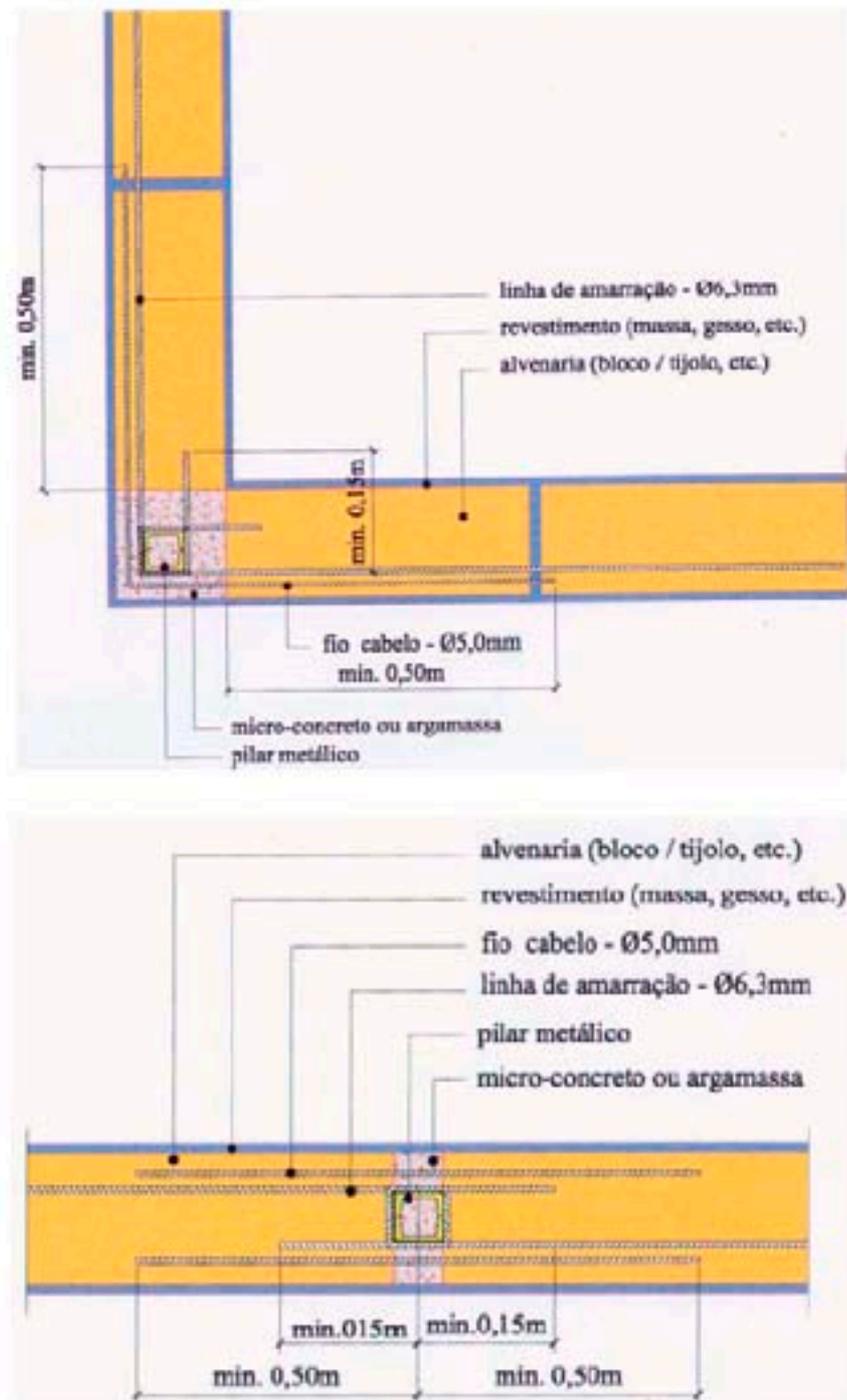
Fonte: Edificações Habitacionais Convencionais Estruturadas em Aço: requisitos e critérios mínimos para financiamento pela Caixa; Caixa Econômica Federal, maio 2002

Figura 6: Ligações vinculadas semi-rígidas



Fonte: Edificações Habitacionais Convencionais Estruturadas em Aço: requisitos e critérios mínimos para financiamento pela Caixa; Caixa Econômica Federal, maio 2002

Figura 7: Ligações Vinculadas Semi-rígidas



Fonte: Edificações Habitacionais Convencionais Estruturadas em Aço: requisitos e critérios mínimos para financiamento pela Caixa; Caixa Econômica Federal, maio 2002

4.1.3. Ligação desvinculada deformável - Neste tipo de ligação a alvenaria trabalha com maior grau de liberdade em relação à estrutura. Utilizada em estruturas com

grandes vãos ($\geq 6,50$ m) e deformação absoluta elevada. São projetadas de forma a trabalhar dentro de uma moldura que permita a movimentação no plano que estão contidas e que impeça ao mesmo tempo uma movimentação indesejada no plano transversal.

O procedimento adequado à esta ligação é o emprego de 2 cantoneiras metálicas, paralelas, espaçadas da espessura do bloco e fixadas ao pilar em aço por solda de campo ou pinos aplicados com pistola. A dimensão mínima da aba de contato da cantoneira é de 28 mm.

Figura 8: Ligações desvinculadas deformáveis com utilização de cantoneiras



Fonte: Edificações Habitacionais Convencionais Estruturadas em Aço: requisitos e critérios mínimos para financiamento pela Caixa; Caixa Econômica Federal, maio 2002

Em alguns casos, o perfil utilizado como pilar em aço pode ser dimensionado em função da espessura da alvenaria, dispensando a utilização das cantoneiras metálicas.

Figura 9: Exemplo de ligação desvinculada deformável com utilização de pilar em chapa dobrada



Fonte: Edificações Habitacionais Convencionais Estruturadas em Aço: requisitos e critérios mínimos para financiamento pela Caixa; Caixa Econômica Federal, maio 2002

4.1.4. Ligação alvenaria e viga

- A rugosidade das vigas não é levada em consideração para o sistema de fixação das alvenarias, sendo necessária apenas a limpeza eficiente e a remoção de todo material solto, graxas e poeiras.
- A ligação da alvenaria com a viga é definida, da mesma forma que a ligação alvenaria e pilar, em dois tipos: vinculada - sistema semi-rígido ou desvinculada - sistema deformável.

4.1.5. Ligação Vinculada Semi-rígida (vãos < 6,5 m) – A adoção deste sistema leva em consideração pequenas deformações térmicas e estruturais sobre o painel de alvenaria, sendo necessária a utilização de argamassa de cimento e água, com aditivo expensor (argamassa não retrátil).

O preenchimento deve ser executado após a conclusão de todas as alvenarias, não antes de sete dias do seu término, e elevada preferencialmente dos pavimentos inferiores para os pavimentos superiores do prédio, com a fixação dos pavimentos superiores para baixo.

Figura 10: Sistema semi-rígido



Fonte: Edificações Habitacionais Convencionais Estruturadas em Aço: requisitos e critérios mínimos para financiamento pela Caixa; Caixa Econômica Federal, maio 2002

4.2 Alvenaria racionalizada

A alvenaria racionalizada pressupõe a otimização dos recursos disponíveis em todas as fases da construção, ou seja, o menor desperdício, a partir da adoção de soluções construtivas, tendo sempre em vista a manutenção da qualidade de execução. Trata-se de um conjunto de atitudes a serem implementadas e que estão assim divididas: Diretrizes de Projeto, Diretrizes de Execução e Diretrizes de Controle.

Diretrizes de projeto – Na fase de concepção da edificação, deve-se:

- Viabilizar a compatibilização da alvenaria de vedação com a estrutura metálica, assim como as esquadrias, instalações e seus revestimentos;
- Estudar a possibilidade do uso de componentes de alvenaria com modulação flexível (concreto celular autoclavado, cerâmicos seccionáveis);
- Trabalhar a elaboração do projeto de produção da alvenaria simultaneamente com o projeto executivo, como objetivo de racionalização.

Diretrizes de execução - Organizar o setor de suprimentos para o cumprimento das seguintes atividades:

- Promover a compra técnica procurando atender as especificações;
- Selecionar fornecedores obedecendo critérios de qualidade;
- Promover a efetivação do controle de recebimento de materiais;
- Padronizar a forma de armazenamento e transporte pelo canteiro;
- Estabelecer mecanismos de retroalimentação ao setor de projetos;
- Padronizar a produção através da elaboração de procedimentos de execução dos serviços;
- Treinar e motivar continuamente a mão de obra contratada.

Diretrizes de controle

- Definir as responsabilidades de cada elemento no processo de produção;
- Padronizar o acompanhamento das atividades através da elaboração de projetos de procedimentos de inspeção dos serviços;
- Estabelecer os mecanismos de recebimento de cada atividade, corrigindo eventuais não-conformidades.

4.3 Recebimento da Estrutura Metálica

Para que a técnica de produção da alvenaria esteja adequada às características e à qualidade da estrutura que delimita o vão, é necessário um levantamento prévio das características da estrutura metálica. Deste levantamento, devem constar a verificação dos seguintes itens:

- Corrosão – deve-se verificar se a camada de cobrimento não está solta, como a camada de Primer a base de zinco, podendo para isto ser usada uma espátula;
- Limpeza – toda poeira ou qualquer tipo de material que esteja aderido na estrutura deve ser retirado;
- Prumo – verifica-se o prumo da estrutura, que deverá ser o mesmo utilizado na execução da alvenaria, não ultrapassando a $H/900$ (onde H é a altura efetiva da alvenaria);
- Qualidade da solda – verifica-se se a solda está bem aplicada e com sua função obedecida;
- Qualidade do encontro viga/pilar – deve-se inspecionar visualmente se existem pontos distantes permitindo a percolação de água;
- Parafuso – quanto à qualidade, se está solto, frouxo ou mal parafusado, permitindo a entrada de água.

4.4 Preparação da superfície da estrutura para receber a alvenaria

A preparação da superfície da estrutura que receberá a alvenaria é de grande importância e deve ser iniciada pela limpeza cuidadosa do local em que será executada a alvenaria. Toda a estrutura de aço deve estar preparada, pois é de suma importância a aderência lateral nos casos de sistema rígido e semi-rígido.

No caso de estruturas deformáveis, deve-se promover uma limpeza do local onde será fixada a placa de EPS com cola adesiva. Para estruturas vinculadas, toda a extensão da estrutura metálica deverá estar livre de restos de materiais aderidos e sua rugosidade preparada com argamassa polimérica colante, com adição de fixador e aplicada com desempenadeira dentada.

Pode-se dividir as etapas de preparo da superfície que irá receber a alvenaria em: limpeza do local, melhoria da aderência alvenaria/estrutura metálica, definição das aberturas (portas, janelas) e fixação das alvenarias aos pilares.

Figura 11: Preparação da estrutura para receber alvenaria



Fonte: Manual de Construção em Aço – Alvenarias, prof. Otávio L. do Nascimento

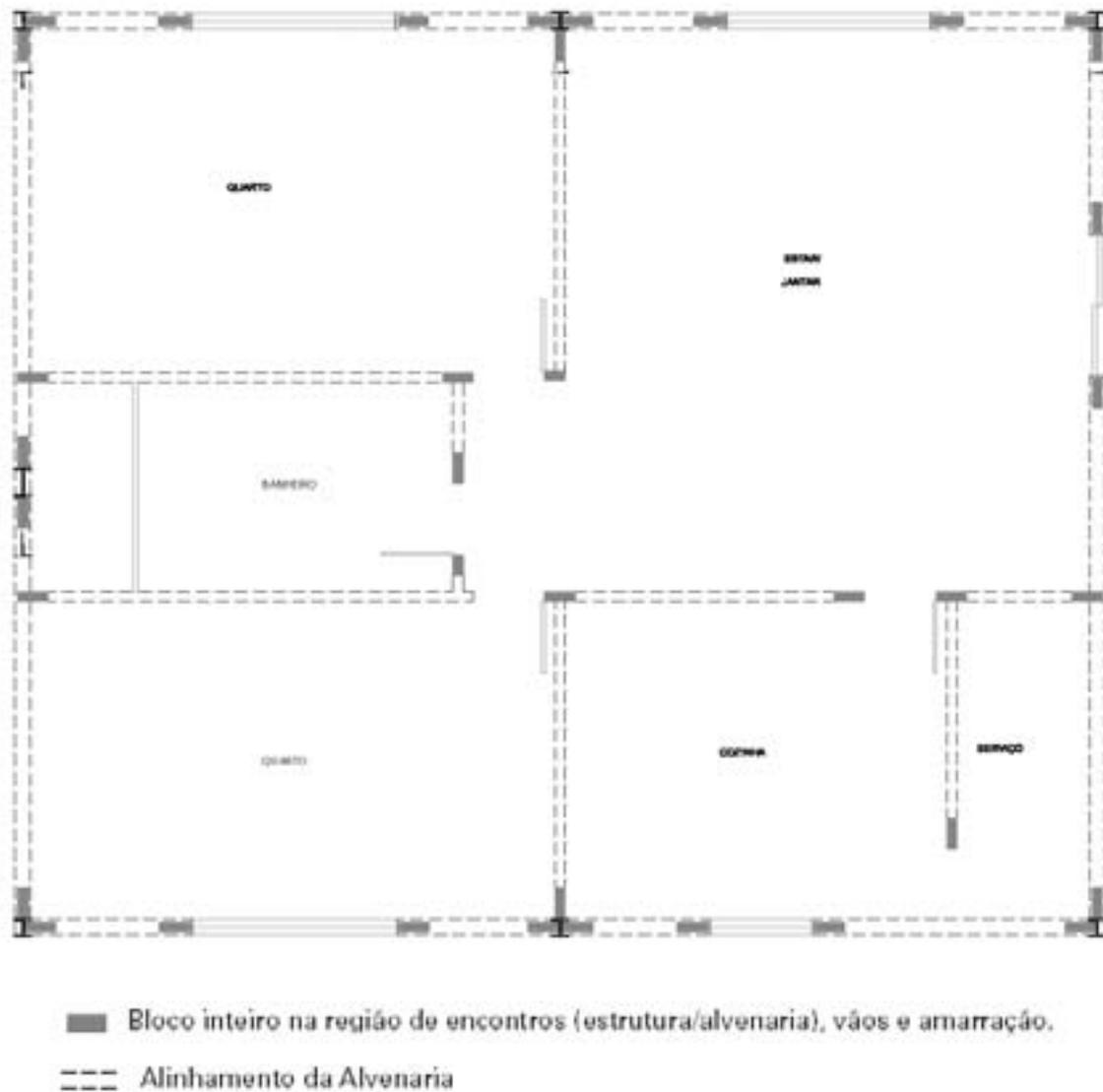
4.5 Execução da alvenaria

A execução da alvenaria de vedação é composta de três etapas: locação da primeira fiada, elevação e fixação.

4.5.1 Locação - Nesta etapa garante-se a qualidade dos serviços de assentamento da alvenaria. Na locação, paredes de alvenaria são posicionadas com o objetivo de otimizar o consumo da argamassa de revestimento e a correção de defeitos possíveis decorrentes da execução da estrutura metálica.

A mão-de-obra deve ser totalmente qualificada, como garantia no ganho de produtividade, uniformidade e qualidade dos serviços. A primeira atividade na locação consiste na materialização dos eixos de referência, preferencialmente os mesmos que foram utilizados para a locação da estrutura. A locação deverá ser iniciada pelas paredes de fachada, considerando o prumo do conjunto executado.

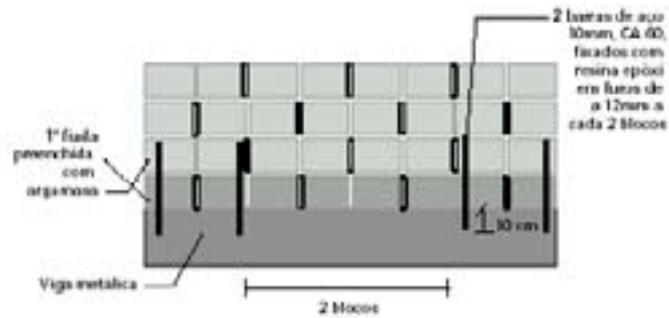
Figura 12: Exemplo de projeto de locação



Fonte: Manual de Construção em Aço – Alvenarias, prof. Otávio L. do Nascimento

Recomenda-se que a locação da alvenaria seja feita com o próprio bloco que será empregado na elevação. No caso de blocos vazados, é comum seu preenchimento na primeira fiada, com o intuito de melhorar as características de fixação de rodapés, prática que pode ser substituída pelo uso de parafusos com buchas. Inicialmente, marcam-se as faces das paredes, a partir dos eixos de referência, usando-se sempre valores das cotas acumuladas, materializando-os pelo posicionamento dos blocos de extremidade. Faz-se então a verificação da distribuição dos blocos nessa fiada, a fim de corrigir distorções.

Figura 13: Exemplo de locação



Fonte: Manual de Construção em Aço – Alvenarias, prof. Otávio L. do Nascimento

O assentamento dos blocos de extremidade é feito após definir-se o espaçamento entre eles. Devidamente posicionados e assentados, passa-se uma linha unindo suas faces externas, determinando, assim, o alinhamento da primeira fiada, que deverá ser completada. Pode-se esticar duas linhas, garantindo o alinhamento e o prumo da fiada. Deverá ser obedecido o mesmo nível entre as fiadas de blocos, a fim de se possibilitar a amarração entre as paredes perpendiculares entre si e manter sua marcação constante e correta. A argamassa utilizada na primeira fiada deverá ser a mesma que será utilizada na elevação da alvenaria, sendo que a espessura poderá ser de 1 a 3 cm, a fim de absorver defeitos na superfície da laje.

Assentam-se os blocos da fiada de locação com a junta vertical preenchida, garantindo assim, maior resistência a choques e permitindo melhor distribuição de esforços entre a estrutura metálica e a alvenaria. Deve-se locar as paredes internas, cujo posicionamento é dado de acordo com a locação das paredes de fachada e das características geométricas das peças estruturais.

Figura 14: Foto de locação



Foto da locação - 1ª fiada



Alvenaria 1ª fiada



Gabarito de porta

Fonte: Manual de Construção em Aço – Alvenarias, prof. Otávio L. do Nascimento

Podem-se utilizar gabaritos na marcação das portas, para possibilitar a locação precisa e a regularidade das laterais. Estes gabaritos também servem como escantilhão, delimitando o alinhamento das fiadas de alvenaria. Para a execução de janelas, já existem no mercado gabaritos que permitem a obtenção de vãos precisos. Concluída a locação, procede-se à avaliação e inspeção da execução.

4.5.2 Elevação da alvenaria – Alguns aspectos importantes devem ser observados para o início da elevação, como a deformação das lajes acima do pavimento. Recomenda-se o uso de junta vertical em toda a execução da alvenaria. Nos casos de vãos internos com comprimento $\leq 4,5\text{m}$ ou λ (índice de esbeltez) ≤ 25 , pode-se adotar o não preenchimento das juntas verticais. Nesse caso, deve-se usar a junta só nas três primeiras fiadas, com o intuito de aumentar a ligação do pilar.

O alinhamento na direção horizontal é dado pela fiada de locação. Para o assentamento da segunda fiada em diante, recomenda-se a utilização de escantilhões, a partir

dos quais pode-se esticar uma linha entre os espaçamentos por ele definidos. A partir do alinhamento, são assentados todos os componentes da fiada, passando para a fiada seguinte até que atinja a abertura ou a última fiada da alvenaria, nos casos das paredes sem aberturas.

Figura 15: Alinhamento na direção horizontal



Alinhamento na direção horizontal

Fonte: Manual de Construção em Aço – Alvenarias, prof. Otávio L. do Nascimento

Especial atenção deve ser dada às juntas horizontais, pois juntas pouco espessas têm baixa capacidade de absorver deformações e juntas espessas provocam queda de resistência mecânica do conjunto e maior consumo de material. Por estes motivos, as juntas horizontais deverão ter espessura de 10mm, não variando para menos de 8mm, nem para mais de 18mm. Coloca-se a argamassa da junta horizontal sobre a fiada já assentada, utilizando-se a colher de pedreiro, ou, preferencialmente, aplica-se de modo a construir dois cordões contínuos (um em cada extremidade do comprimento da parede), usando bisnaga, meia-cana ou desempenadeira. Recomenda-se a junta fresca de 1,5 cm, que ficará com 1cm depois de seca.

Figura 16: Juntas horizontais preenchidas

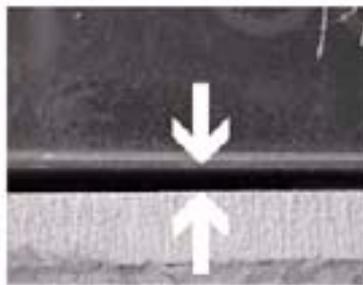


Fonte: Manual de Construção em Aço – Alvenarias, prof. Otávio L. do Nascimento

Recomenda-se também que haja amarração entre as paredes, pois este tipo de ligação permite a redistribuição das tensões atuantes na alvenaria. Os blocos posicionados junto às estruturas metálicas devem ser assentados com argamassa da junta vertical já colocada sobre ele, de modo que ela seja comprimida fortemente junto com a estrutura previamente tratada para receber alvenaria, no caso de ligação rígida.

Para corrigir eventuais falhas, deve-se verificar o alinhamento e o prumo a cada fiada executada. As juntas verticais dos blocos da última fiada devem ser preenchidas e para uma adequada fixação do vão entre a alvenaria e a estrutura deve-se deixar um espaçamento compatível com o sistema de fixação superior da alvenaria especificado no projeto.

Figura 17: Espaçamento entre a alvenaria e a estrutura



Fonte: Manual de Construção em Aço – Alvenarias, prof. Otávio L. do Nascimento

Recomendações extras na elevação da alvenaria:

- Os blocos deverão ser assentados com furos na vertical no embutimento dos eletrodutos;
- Nas paredes com previsão de caixas de instalações, deve-se posicionar um gabarito de madeira do tamanho da caixa (quando alcançar a altura), para que o vão fique moldado;
- No caso de existirem flechas nas vigas ou lajes, as duas últimas fiadas devem ser assentadas sem nível, compensando as diferenças com a variação da espessura das juntas de argamassa.

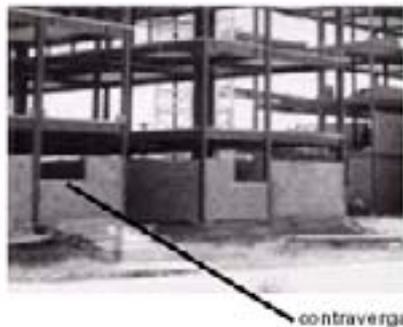
4.5.3 Fixação da alvenaria – Deve-se considerar as diferentes situações quanto ao elemento estrutural, que envolvem a fixação superior da alvenaria junto à estrutura metálica, como sistema rígido, semi-rígido e deformável. Esta fixação deve ser adiada o mais possível, sendo ideal executá-la a partir dos pisos superiores, em direção aos inferiores. No caso de alvenarias terminadas em bordo livre, deve-se executar cinta de borda.

4.6 Execução dos detalhes de construção

Os detalhes de construção como aberturas, embutimento e juntas de controle merecem atenção especial quando estamos falando de alvenarias para estruturas metálicas.

4.6.1 Aberturas – Portas e janelas ou outras aberturas devem ser reforçadas com vergas e contravergas para prevenir futuras fissuras (45°). As contravergas são apropriadas sempre que a abertura ultrapassar 0,50 m. Executa-se a alvenaria até uma fiada antes da altura dos peitoris para a execução das contravergas. Por uma questão de racionalização, é desejável que as aberturas atinjam a viga ou a laje, eliminando a necessidade de vergas.

Figura 18: Exemplo de contraverga



Fonte: Manual de Construção em Aço – Alvenarias, prof. Otávio L. do Nascimento

Segundo NASCIMENTO, as seguintes recomendações devem ser seguidas na execução de vergas e contravergas:

- O apoio mínimo para a realização das vergas e contravergas é de 0,20 m.
- Especificam-se vergas contínuas em vãos sucessivos, cujas distâncias sejam inferiores a 0,60 m.
- A seção transversal das vergas e contravergas devem ser no mínimo correspondentes à dos blocos.

Ainda segundo NASCIMENTO, os valores recomendáveis para a execução de vergas e contravergas variam em relação ao tipo de bloco, comprimento da parede e tamanho do vão, como vemos na tabela a seguir:

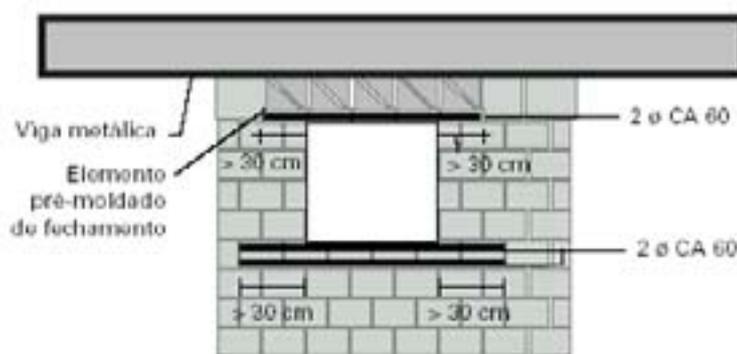
Tabela 4 – Valores recomendados na execução de vergas e contravergas

	Blocos de concreto				Blocos de concreto celular autoclavado				Blocos cerâmicos			
	Vergas		Contravergas		Vergas		Contravergas		Vergas		Contravergas	
Comprimento da parede (m)	≤ 8	> 8	≤ 8	> 8	≤ 8	> 8	≤ 8	> 8	≤ 8	> 8	≤ 8	> 8
Abertura do vão (m)	< 2,5	< 2,5	< 2,5	2,5 a 3	< 2,5	até 3,2	< 2,5	até 3,2	< 2,5	até 3,2	< 2,5	até 3,2
Apoio mínimo (m)	0,3	0,4	0,4	0,6	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4

Fonte: Manual de Construção em Aço, Otávio Luiz do Nascimento

Nos casos em que a abertura não atinge a viga metálica ou a laje, deve-se executar uma semi-verga, de 5 cm de espessura, armada com ferro CA60 de 10 mm, e posteriormente faz-se um enchimento (tipo encunhamento) com elemento pré-moldado até a altura da viga metálica. Esse preenchimento pode ser feito no canteiro da obra ou comprado diretamente da fábrica.

Figura 19: Exemplo de abertura que não atinge a viga metálica



Fonte: Manual de Construção em Aço – Alvenarias, prof. Otávio L. do Nascimento

Para vergas com aberturas inferiores a 2,40 m os procedimentos serão idênticos aos indicados para as contravergas, sendo necessário um escoramento dos blocos para o assentamento e moldagem no local da verga. Já para as vergas com aberturas superiores a 2,40 m, deve-se tomar a verga como uma viga e dimensionar sua armadura como tal.

Figura 20: Exemplo de verga



Fonte: anual de Construção em Aço – Alvenarias, prof. Otávio L. do Nascimento

Quando estão sendo utilizados blocos de concreto, de cerâmica ou de concreto celular autoclavado, pode-se fazer a moldagem no local, usando os blocos canaletas ou a pré-fabricação com concreto celular.

4.6.2 Embutimento – Segundo NASCIMENTO, a técnica mais racional para o embutimento das instalações é a Shaft.

Embutimento de instalações hidráulicas – Quando as instalações hidráulicas estão distribuídas numa superfície, recomenda-se a execução de paredes duplas, usando-se componentes de pouca espessura. Eleva-se a primeira alvenaria para fixação da árvore hidráulica e, em seguida, eleva-se a segunda alvenaria, deixando os furos para os pontos de água.

Optando-se pelo corte direto na alvenaria, deve-se fazer um detalhamento construtivo das paredes, com o objetivo de local e dimensionar os rasgos das instalações. No caso de blocos cerâmicos, de concreto ou sílico-calcários, recomenda-se que o corte seja feito com a ajuda de uma serra de disco de corte. Já os blocos de concreto celular autoclavado requerem o uso de rasgador manual, que permite rasgar sem danificar.

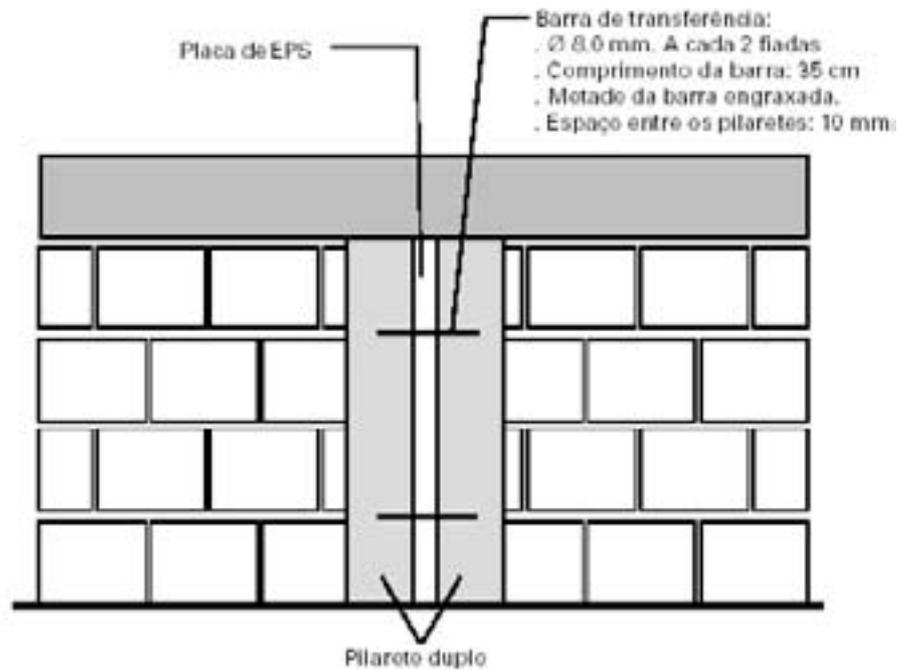
Embutimento de instalações de água quente – Este tipo de instalação requer o isolamento da tubulação, o que pode ser feito utilizando-se argamassa misturada a isolante térmico (vermiculita ou outros), argamassa específica pré-dosada ou tubo de espuma rígida.

Embutimento de instalações elétricas – Já estão disponíveis no mercado alguns blocos com furos que permitem a passagem dos eletrodutos.

NASCIMENTO recomenda ainda a utilização de shafts nas prumadas de luz, gás, telefone e sanitárias.

4.6.3 Juntas de controle – No caso de paredes de alvenaria de grandes dimensões, devem ser usadas juntas de controle, para limitar o comprimento das paredes e evitar a concentração de tensões. As juntas de controle devem ser executadas à medida que a parede vai sendo levantada, para que os painéis separados pelas juntas não percam a estabilidade, permitindo o controle quanto à torção e oscilações transversais. Após a concretagem do pilarete, a cada 30 cm, deve-se fixar a barra de transferência, com uma metade dentro de um pilarete e a outra metade encapada ou esmaltada no outro pilarete. Entre os pilaretes deve-se colar uma placa de EPS, para a absorção das tensões.

Figura 21: Pilarete duplo



Fonte: Manual de Construção em Aço – Alvenarias, prof. Otávio L. do Nascimento

4.7 Inspeção e avaliação da execução da alvenaria

Atender prazos e orçamentos sem perda da qualidade é tarefa que requer organização e fixação de parâmetros. A Tabela 5 a seguir contém os itens cuja verificação é necessária, além de sugerir a metodologia e o responsável pelo procedimento.

Tabela 5: Controle das condições para a execução da alvenaria (check list)

Itens de verificação	Tolerância	Metodologia	Responsável
Limpeza da estrutura (pilar, vigas)	Visual	Verificar se não existe nenhum tipo de material aderido na estrutura e limpar.	Encarregado ou mestre
Limpeza da laje suporte	Visual	Limpar a laje que irá receber a alvenaria. Pode-se utilizar uma vassoura.	Encarregado ou mestre
Marcação dos eixos de referência	Usar trena precisa $\pm 1,0\text{mm}$	Verificar se os eixos estão no lugar preciso.	Engenheiro ou mestre
Alinhamento	5mm a 10 mm	Conferir o alinhamento das faces das vigas e pilares, observando a tolerância de 5mm para eixos de alvenaria e vigas internas e 10mm para o mesmo deslocamento às vigas externas.	Encarregado ou mestre
Esquadro	2mm	Verificar o esquadro dos ambiente admitindo um desvio máximo de 2mm, na ponta do lado maior.	Encarregado ou mestre
Nivelamento	3mm	Verificar o nivelamento da fiada de locação.	Encarregado ou mestre
Vão de porta	$\pm 5\text{mm}$	Verificar a abertura do vão conforme o projeto.	Encarregado ou mestre
Aspecto geral	Visual	Avaliar a regularidade da parede, limpeza das rebarbas e preenchimento das juntas verticais.	Encarregado ou mestre
Aplicação da argamassa	Visual	Verificar a aplicação da argamassa nas laterais dos blocos e a espessura das juntas horizontais, conforme projeto da alvenaria.	Encarregado ou mestre
Nivelamento	3mm	Verificar o nivelamento do levante com régua de alumínio. A cada 2m de régua, 5mm de tolerância.	Encarregado ou mestre
Prumo e praticidade	$<h/900$	Verificar com a elevação à meia altura e após a retirada do andaime.	Encarregado ou mestre
Amarração	Visual	Verificar se o acabamento dos cantos estão sendo executados conforme descrito no projeto.	Encarregado ou mestre
Vãos de portas e janelas	$\pm 5\text{mm}$	Verificar abertura do vão conforme projeto, assim como assentamento de vergas e contravergas.	Encarregado ou mestre
Abertura para fixação superior	$\pm 10\text{ mm}$	Verificar tipo de fixação.	Encarregado ou mestre
Fixação das paredes internas e fachada	Visual	Checar o total preenchimento do vão que deve cobrir toda a largura do bloco.	Encarregado ou mestre
Pilaretes e cintas	$\pm 10\text{ mm}$	Verificar se estão conforme dimensionados no projeto.	Encarregado ou mestre

Fonte: Alvenarias - Manual de Construção em Aço– Prof. Otávio L. do Nascimento

4.8 Estabilidade das alvenarias de vedação nas estruturas metálicas

Da estabilidade das alvenarias de vedação dependem a segurança e a durabilidade de uma edificação. Apesar de não existirem normas brasileiras para o comportamento das alvenarias de vedação, alguns parâmetros internacionais e experiências serão relatados como

metodologia básica para o controle de estabilidade e durabilidade e prevenção de fissuras, infiltração, deslocamentos etc. (NASCIMENTO). Para avaliar as condições de estabilidade de um sistema de alvenaria, deve-se estabelecer o índice de esbeltez (λ), que é a razão entre a altura efetiva da alvenaria (H_{ef}) pela espessura do bloco (e_b).

$$\lambda = \frac{\text{Altura efetiva } (H_{ef})}{\text{Espessura do bloco } (e_b)}$$

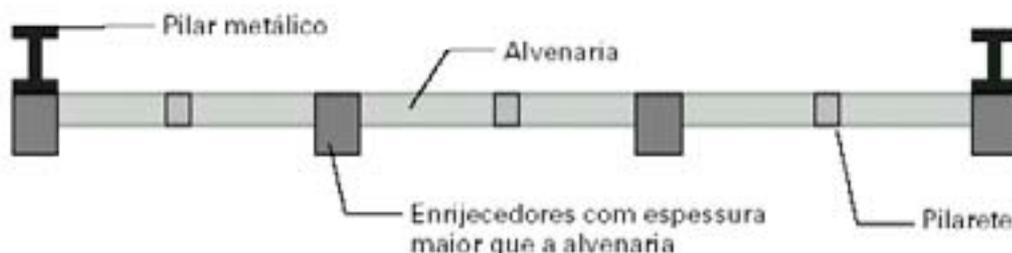
Onde:

H_{ef} = altura efetiva da alvenaria entre as estruturas superiores e inferiores. No caso de bordo livre, utilizar $H_{ef} = 2 \times$ altura da base à borda.

e_b = espessura do bloco/elemento de montagem da alvenaria.

Considera-se estável a alvenaria externa em que $\lambda \leq 27$, assim como a alvenaria interna em que $\lambda \leq 30$. Quando estes valores são ultrapassados, pode-se aumentar a espessura do bloco ou enrijecer internamente a alvenaria com cintas e pilaretes. A amarração dos blocos também contribui para o enrijecimento da alvenaria. Em algumas situações, pode-se prever enrijecedores de espessura maior que a alvenaria, capazes de aumentar a espessura média do sistema.

Figura 22: Enrijecedores



Fonte: Manual de Construção em Aço – Alvenarias, prof. Otávio L. do Nascimento

CAPÍTULO V - ESTUDO DE CASO: USITETO

Figura 23: Fachada de prédio do projeto Usiteto



Prédio do Projeto Usiteto em Juiz de Fora, MG, realizado em regime de mutirão.
Fonte: Ensaio Fotográfico 8 Solução Usiminas para Habitação Popular

5.1. Descrição do estudo de caso

O projeto Usiteto nasceu de uma parceria entre a Usiminas e a Companhia de Habitação de Minas Gerais (Cohab-MG), iniciada em 1997. Esta iniciativa tem gerando resultados importantes naquele Estado, onde já foram erguidos 42 prédios com 16 apartamentos cada, destinados à população com renda de até três salários mínimos.

O programa habitacional firmado em Minas possibilitou a construção de edificações nas regiões de Santa Luzia, Nova Lima e Vespasiano, na Grande Belo Horizonte, chegando também à Zona da Mata. Em Juiz de Fora, onde estão em andamento três novos prédios, já foram erguidas sete edificações com dezesseis apartamentos, em regime de empreitada.

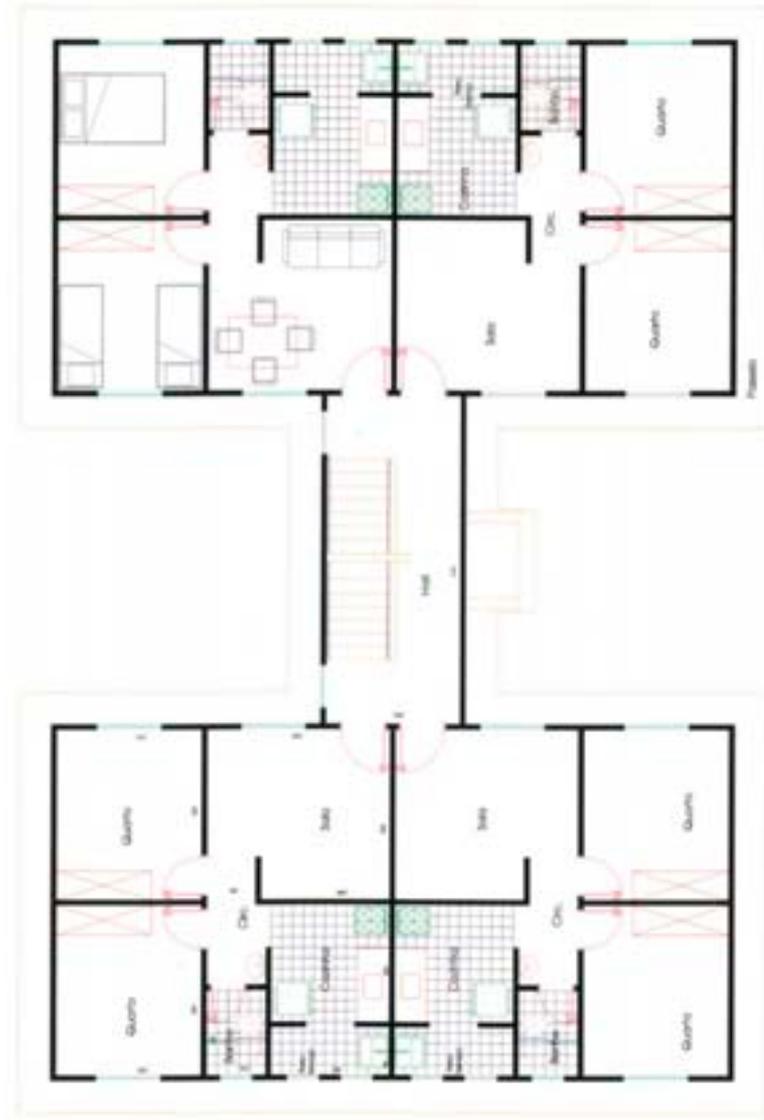
Segundo o presidente da Usiminas, Rinaldo Campos Soares, o projeto Usiteto tem a ambição de se estender para todo o Brasil, como uma solução para a redução do déficit habitacional no país, que hoje atinge cerca de 6,5 milhões de moradias. As inúmeras vantagens do processo fazem da estrutura metálica uma opção inteligente para construir. A maior resistência do aço, por exemplo, permite a realização de um projeto mais leve, garantindo uma grande redução nos custos com fundação.

A Usiminas tem uma presença importante no mercado internacional de produtos siderúrgicos, sendo seus principais clientes os EUA, Argentina, Venezuela, Chile e Colômbia, que em 1998 representaram cerca de 82% das exportações totais de produtos laminados.

Depois da experiência bem sucedida com a construção de 42 prédios, o Usiteto está sendo usado na construção de casas populares com até 36m² de área construída. A Caixa Econômica Federal está financiando, pela primeira vez, a comercialização de moradias populares em estrutura de aço, que utilizam a tecnologia desenvolvida pela Usiminas no Projeto Usiteto e que se destaca como uma solução de construção rápida, limpa e barata.

No programa Usiteto, a Usiminas apresenta soluções construtivas tanto para edifícios residenciais populares como para casas em estrutura metálica. Atendendo às necessidades habitacionais brasileiras, os prédios com estrutura em aço têm até quatro pavimentos, com dezesseis unidades por edificação. Cada unidade possui área total de 46,69 m², com 42,54 m² de área útil, divididos entre sala, dois quartos, circulação, banheiro, cozinha e área de serviço (Figura 24).

Figura 24: Planta baixa projeto Cohab/MG



Fonte: Usiteto, Solução Usiminas para Habitação Popular

Com custo competitivo, o tempo médio previsto para a construção de um prédio é de cerca de 100 dias, pouco mais de três meses. Os processos construtivos - um semi-industrializado (utilização de fechamento em tijolo cerâmico) e outro industrializado (fechamento com painéis) - são o que diferencia as edificações. No momento, o processo semi-industrializado é o que tem financiamento da Caixa. O outro, o processo industrializado, está em estudos.

Já a casa popular é composta por engradamento metálico, com ou sem colunas, que servem de guias para o alinhamento das alvenarias, com a vantagem de serem adequadas à autoconstrução. Nesse sistema, destaca-se ainda a possibilidade de a casa ser construída em módulos, com um núcleo inicial formado por quarto, cozinha e banheiro. Num segundo momento, pode ser feita a expansão, com o acréscimo de uma sala e mais um quarto, totalizando uma residência de 36m² de área construída.

Na utilização de engradamentos metálicos, destacam-se ainda outros benefícios em consequência da substituição dos telhados de madeira. Além de mais baratos, os engradamentos metálicos permitem uma grande melhoria de qualidade, contribuindo ainda para a racionalização do uso da madeira.

Segundo o presidente da Usiminas, Rinaldo Campos Soares, a intenção da siderúrgica é que o Usiteto contribua para melhorar a situação habitacional do Brasil e, conseqüentemente, reduzir a dívida social que o déficit de moradias representa.

5.1.1. Obras visitadas

- ✓ Conjunto Habitacional – CDHU – Zona Sul
 - Rua Júlio Lourenço Pinto, 451- Campo Limpo – São Paulo, SP
- ✓ Conjunto Habitacional – CDHU I1/I2/I3 – Zona Leste
 - Rua Jaguarão, 120 – Morro Branco - Itaquaquecetuba – SP
- ✓ Conjunto Habitacional – CDHU B2 – Zona Leste – 160 unidades
 - Rua Cambucí, 20 – Jardim Odete - Itaquaquecetuba – SP

5.1.2. O que é o sistema - O convênio COHAB-MG, BDMG e USIMINAS propiciou o desenvolvimento de um projeto para construções de prédios de até 5 pavimentos

utilizando estruturas com perfis em chapa dobrada, fabricados com o aço USI-SAC-41, o que representa um progresso na tecnologia da construção em aço.

Viabilizado através de um extenso programa de testes de laboratórios e pesquisas de aperfeiçoamento realizados na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), através da Fundação Christiano Ottoni (FCO), o projeto Usiteto permitiu uma sensível redução nos custos da estrutura, com um ganho aproximado de 40% no seu peso. Deve-se levar em consideração, também, que o projeto permite o desenvolvimento do trabalho em regime de mutirão ou empreitada, reduzindo ainda mais o custo da obra total.

5.1.3. Etapas da obra

A favor do projeto, conta a inexistência de restrições quanto ao tipo de fundação a ser adotado (Figura 25). Pode-se optar pelos sistemas de tubulão, estaca ou sapata corrida, dependendo das características do solo. Geralmente, usa-se o cintamento em concreto armado e fôrmas de madeira para amarração dos tubulões e sustentação das paredes do primeiro pavimento.

Figura 25: Execução das fundações



Fonte: Ensaio Fotográfico 8, Usiminas

A estrutura de sustentação dos prédios é feita com vigas e colunas metálicas em aço USI-SAC-41. A estabilidade do conjunto é obtida através de formação de pórticos em um sentido e de painéis contraventados na outra direção.

Figura 26: Estrutura metálica



Fonte: Ensaio Fotográfico 8, Usiminas

O sistema de vigas mistas é usado na concepção estrutural, ou seja, o concreto da laje trabalha solidariamente ligado à viga metálica através de conectores e desempenha a função de aumentar a resistência do conjunto, permitindo a redução de peso no dimensionamento das vigas. Não há restrições quanto ao tipo de alvenaria utilizado nas paredes internas ou externas dos prédios, permitindo que a escolha leve em consideração as características técnicas e os benefícios para o sistema como um todo.

Figura 27: Fechamentos



Fonte: Ensaio Fotográfico 8, Usiminas

O acabamento interno em nada difere do acabamento convencional, como se vê na Figura 28.

Figura 28: Acabamento interno



Fonte: Ensaio Fotográfico 8, Usiminas

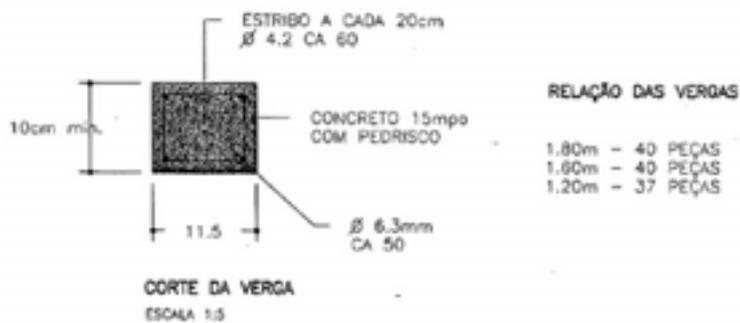
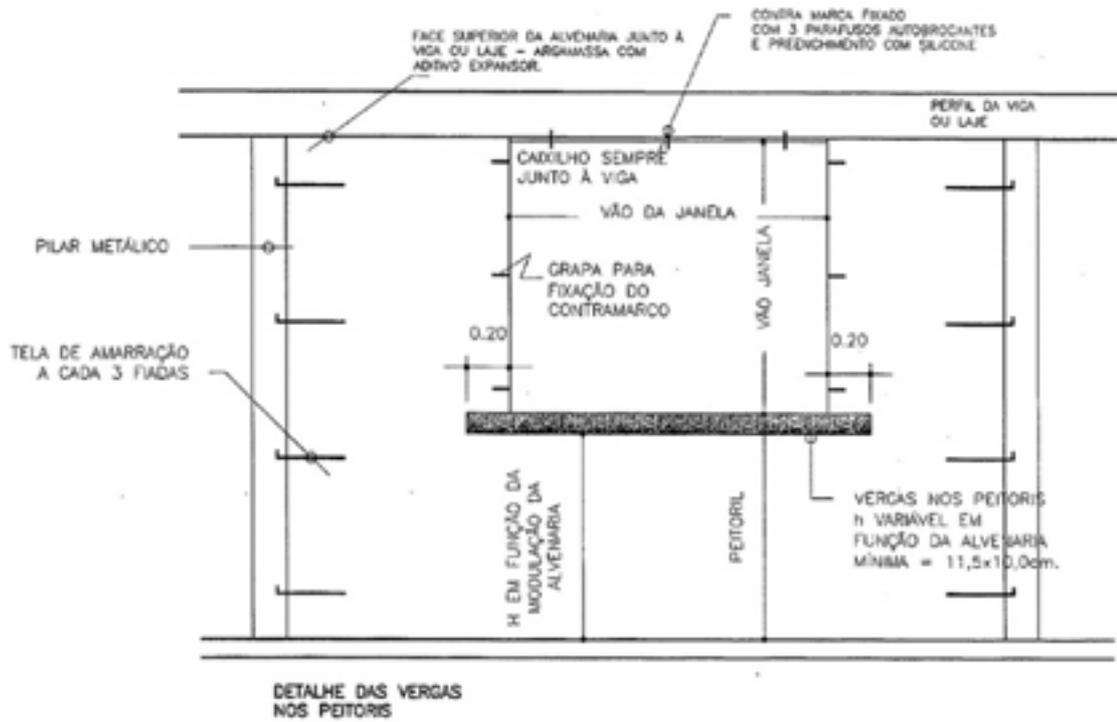
5.2. Análise da fase do projeto

Verificou-se que o projeto é mais focado na fabricação e montagem da estrutura metálica. Quanto ao projeto de alvenaria, podemos observar que contém apenas detalhes das ligações e acabamentos, não existindo um projeto para execução de painéis de alvenaria, o que facilitaria muito sua execução, reduzindo o número de horas gastas/m² de alvenaria, controlando o desperdício e qualidade de materiais.

No que diz respeito à alvenaria, foi constatada a existência em projeto dos seguintes detalhes:

- Detalhe das vergas dos peitoris
- Detalhe de amarração da alvenaria com a viga superior

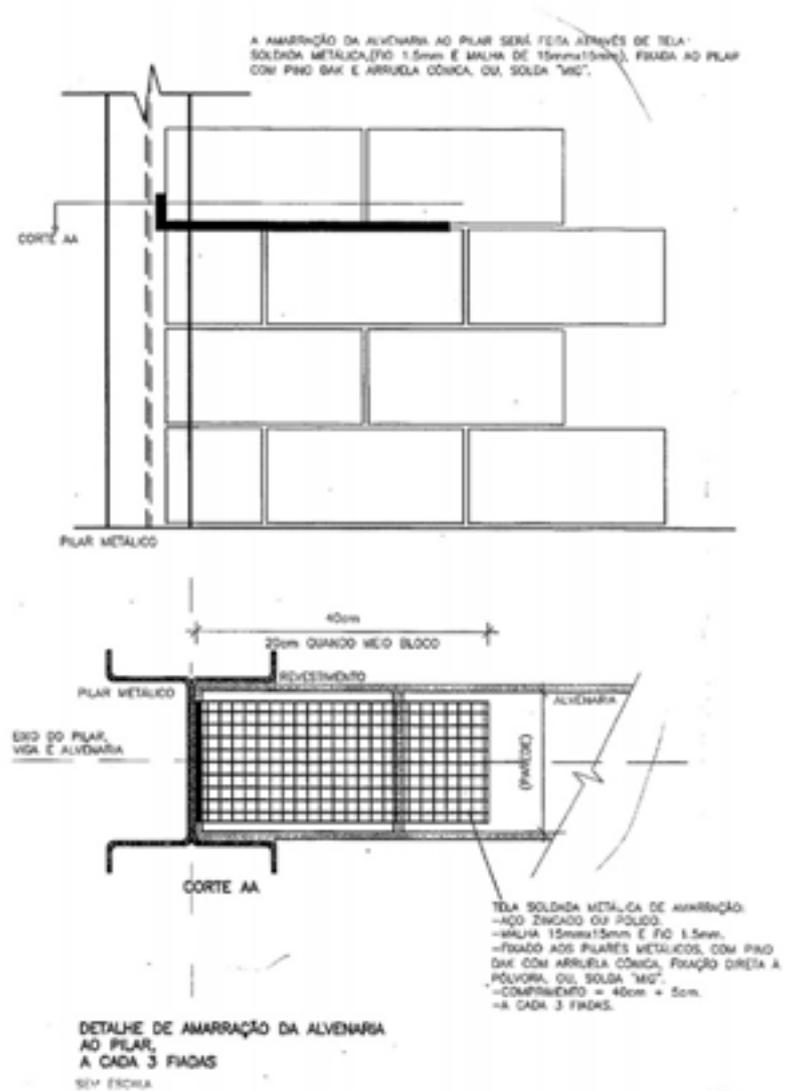
Figura 29: Detalhes das vergas dos peitoris e de amarração da alvenaria com a viga superior



Fonte: Projeto executivo Unidade Habitacional VO52 / Interamericana - Alphametel

- Detalhe de amarração da alvenaria com o pilar

Figura 30: Detalhe de amarração da alvenaria com o pilar



Fonte: Projeto executivo Unidade Habitacional VO52 / Interamericana – Alphametel

No projeto da estrutura metálica, toma-se o cuidado de ter nas colunas, em locais onde haverá o contato com os painéis de alvenaria, dobras com aproximadamente 28 mm, formando cantoneiras duplas, com o intuito de complementar a fixação. Este cuidado garante a estanqueidade, serve de limitadora para argamassa colante e acabamento entre estrutura metálica e o painel de alvenaria.

rejuntamentos horizontais e verticais (com base na esbelteza da alvenaria de 90mm) e também a utilização de argamassa com expansor para a fixação superior (painel x viga).

- Utilizou-se, no acabamento, a pintura elastomérica para as ligações painel de alvenaria x estrutura metálica, como garantia para impedir a desagregação das bordas e a sua impermeabilização.

5.3. Visita às obras em construção e concluídas

Durante a visita às obras, pôde-se observar que existe um cuidado especial quanto à execução das interfaces da estrutura metálica com os painéis de alvenaria. São utilizados os seguintes critérios:

- 1) Limpeza do perfil metálico para remoção de incrustações e quaisquer sujeiras nas áreas que entrarão em contato com o painel de alvenaria.

2) Com relação à amarração alvenaria x pilar – Fixação das telas de aço “Belgofix – 6 cm x 50 cm” com auxílio de pinos DAK 16 – P8 de fixação para tela tipo cravos Hilti – fixados por meio de pistola Hilti. As posições são galgadas e marcadas conforme projeto. Internos as cantoneiras duplas, que também servem para controle do prumo dos painéis.

Figura 32: Detalhe das amarrações do painel de alvenaria x pilar



Fonte: arquivos do autor

3) A execução dos painéis de alvenaria não se dá com base em procedimentos e padrões de assentamento. A mão de obra não é qualificada ou treinada. Os blocos não têm controle de qualidade normatizado. Verifica-se que a falta de projeto de alvenaria acarreta baixa produtividade e desperdício de materiais.

Figura 33: Detalhe da execução do painel de alvenaria



Fonte: arquivos do autor

4) Com relação à amarração alvenaria x viga superior, o processo segue rigorosamente o projeto de execução, utilizando argamassa com aditivo Expansion-Vedacit-Ottobaumgart, tomando-se o cuidado de executar tal travamento após a execução da laje superior e no mínimo de 72 horas após a conclusão do painel de alvenaria.

Figura 34: Detalhes de amarração do painel de alvenaria x viga superior



Fonte: arquivos do autor

5) As vergas dos peitoris são executadas durante o levantamento do painel de alvenaria, conforme o projeto. Com relação à parte superior dos caixilhos, estes são encostados nas vigas metálicas superiores, eliminando assim a execução de vergas superiores.

Figura 35: Detalhe das vergas dos peitoris



Fonte: arquivos do autor

6) Quando da fase de acabamentos, verificou-se que continua o cuidado com relação às juntas voltadas para o exterior e que os detalhes e especificações técnicas são rigorosamente seguidos. Todas as juntas recebem pintura com polímero elastomérico sintético com 3 demãos, de fabricação Gumacril, na largura de 6 cm, sendo 3 cm sobre a estrutura metálica e 3 cm sobre a argamassa.

Figura 36: Detalhe da pintura das juntas voltadas para o exterior



Fonte: arquivos do autor

Pelo que pôde ser constatado em visita às obras do conjunto habitacional CDHU Campo Limpo (São Paulo), que foram concluídas há aproximadamente um ano e já estão ocupadas por seus proprietários, não há problemas de infiltração pelas juntas e nem rachaduras/fissuras, dando assim, até o momento, garantia de sua funcionalidade.

Figura 37: Fachada de prédio concluído – Campo Limpo, São Paulo



Fonte: arquivos do autor

CONCLUSÃO

Nas construções de estrutura metálica, a exatidão e a compatibilização perfeita dos vários projetos é necessária para se aproveitar as vantagens que o aço e a industrialização podem oferecer. Se a estrutura pode oferecer rapidez, leveza e limpeza no canteiro de obras, os outros sistemas têm que estar milimetricamente afinados e sincronizados com o primeiro.

A viabilidade das estruturas metálicas no mercado está diretamente ligada ao sucesso de sua associação com os sistemas de vedação. A partir da perfeita integração entre estes dois sistemas, pode-se chegar a uma concepção realmente industrializada e eficiente da obra, já que todas as outras etapas complementares de uma construção devem se basear e se adaptar à estrutura e às vedações.

Apesar de avanços tecnológicos no Brasil, esta tecnologia tão eficaz de estrutura metálica com fechamentos em alvenarias ou painéis tem sido pouco explorada. A falta de conhecimento e domínio técnico a respeito das potencialidades, limitações e condições de interação dos diversos sistemas entre si e isoladamente, resulta num círculo vicioso responsável, em grande parte, pela não exploração destes sistemas. No entanto, os investimentos destinados a este setor estão cada vez mais presentes e volumosos. As grandes demonstrações de incompetência tecnológica devem ser completamente abolidas da engenharia e substituídas por estudos que vão certificar a eficiência do sistema.

A construção metálica, aliada a um correto planejamento e execução de alvenaria de vedação, pode ser considerada como uma promessa de solução racional e viável para as necessidades da construção civil no Brasil. Segundo a Revista CREA-SP, o déficit habitacional brasileiro é de 6,6 milhões de casas para as famílias de menor poder aquisitivo.

A análise feita através de pesquisa bibliográfica e levantamentos em obra e entrevista com projetista, permitiu concluir pela plena viabilidade do emprego de estruturas metálicas com alvenaria para a realização de obras habitacionais populares. Esta tipologia constitui-se assim em mais uma solução que, somada a outras, pode minorar os graves problemas sociais causados pela falta de moradia para a população carente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. www.abnt.org.br

ALVARENGA, Rita de Cássia Silva S. SILVA, Roberto M. da. ANTUNES, Helena M.C. Carmo. LOURENÇO, Paulo B. Avaliação da eficiência do ferro-cabelo como elemento de ligação da interface pórtico de aço-painel, em sistemas de pórticos preenchidos. II CICOM Congresso Internacional da Construção Metálica, São Paulo, novembro de 2002.

BARROS, M.M.S.B. O desafio da implantação de inovações tecnológicas no sistema produtivo das empresas construtoras. Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Vedações Verticais, Anais, EPUSP, São Paulo, 1998.

COELHO, Roberto de Araújo. Apostila do Curso “Sistemas Complementares para Edifícios em Estruturas Metálicas”. Fupam/FAU-USP, 2001

COSTA, Urânia. SOUZA, Henor A. de. NEVES, Francisco de Assis das. Painéis de vedação e a construção industrializada em aço. Revista Construção Metálica nº 48, 2001.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. Estruturas de aço. Conceitos, técnicas e linguagem. São Paulo: Zigurate Editora, 2000.

LOPES, José Antonio Esquerdo. Produtividade da mão-de-obra em projetos de estruturas metálicas. Dissertação de mestrado. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2001.

NASCIMENTO, Otávio Luiz do. Alvenaria. Manual de construção em aço. Belo Horizonte: Consultare, Açominas, Cosipa, CSN, CST, USIMINAS.

PEREIRA, T.C. LANA, M.F. SILVA, M.G. SILVA, V.G. Alternativas de vedações externas de edifícios com estruturas metálicas. Semana da Construção Metálica na UFES, Revista Engenharia Ciência e Tecnologia nº 17, 2000.

Revista do CREA-SP. O aço na construção de casas populares. Ano III, nº 10, jul/ago 2003

SIQUEIRA Fº, F.S. DIAS, E.M. Racionalização da construção: produção de fachadas e impermeabilização. Distrito Federal: CREA/DF, 1999.

SOUZA, Ubiraci E. L. de. Sistemas de vedações para edifícios de aço. São Paulo: Escola Politécnica da USP, outubro de 1988.

SOUZA, U.E.L. Qualidade e produtividade nos métodos, processos e sistemas construtivos. Simpósio de Pesquisa da Escola Politécnica da USP, palestra, São Paulo, 1997.

TARNOCZY JR., Ernesto. Edifícios de aço para fins habitacionais e comerciais. São Paulo: Escola Politécnica da USP, abril de 1989.

USIMINAS. Solução Usiminas para habitação popular. 1 Apresentação. Belo Horizonte: USIMINAS, Gerência de Desenvolvimento da Aplicação do Aço – DGA.

_____. Solução Usiminas para habitação popular. 2 Detalhes técnicos. Belo Horizonte: USIMINAS, Gerência de Desenvolvimento da Aplicação do Aço – DGA.

_____. Solução Usiminas para habitação popular. 3 Detalhes Construtivos. Belo Horizonte: USIMINAS, Gerência de Desenvolvimento da Aplicação do Aço – DGA.

_____. Solução Usiminas para habitação popular. Ensaio fotográfico. Belo Horizonte: USIMINAS, Gerência de Desenvolvimento da Aplicação do Aço – DGA.

_____. Solução Usiminas para habitação popular. Usiteto. Belo Horizonte: USIMINAS, Gerência de Desenvolvimento da Aplicação do Aço – DGA.

_____. O aço na construção civil. Belo Horizonte: USIMINAS, USI-SAC, Gerência de Desenvolvimento da Aplicação do Aço – DGA.

ANEXOS

Anexo I - Normas Técnicas Pertinentes

Título da norma	Código	Última atualização
Agregados leves para concreto de elementos para alvenaria	EB228	1969
Argamassa de assentamento para alvenaria de bloco de concreto - Determinação da retenção de água	MB2412 NBR9287	1985
Argamassa industrializada para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Especificação	NBR 13281	1995
Argamassas endurecidas para alvenaria estrutural - Retração por secagem	MB1904 NBR8490	1983
Bloco cerâmico para alvenaria – Especificação	EB 20 NBR 7171	1992
Bloco cerâmico para alvenaria - Formas e dimensões	PB1008 NBR8042	1992
Bloco cerâmico para alvenaria - Verificação da resistência à compressão	MB53 NBR6461	1983
Bloco cerâmico portante para alvenaria - Determinação da área líquida	MB1820 NBR8043	1983
Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural	EB959 NBR6136	1994
Blocos vazados de concreto para alvenaria - Retração por secagem	MB3458 NBR12117	1991
Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida	MB3459 NBR12118	1991
Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Determinação da resistência à compressão	MB116 NBR7184	1991
Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Determinação da resistência à compressão	MB116 NBR7184	1991
Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural – Especificação	EB 50 NBR 7173	1982
Cal hidratada para argamassas – Especificação	EB 153 NBR 7175	1992
Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto	NB1228 NBR10837	1989
Cimento de alvenaria	EB1964 NBR10907	1989
Cimento de alvenaria - Ensaio	MB3121 NBR10906	1989
Cimento portland comum – Especificação	EB 1 NBR 5732	1991
Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio – Procedimento	NBR14323	1999
Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos - Procedimento	NB 788 NBR 8545	1983
Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto	NB889 NBR8798	1984
Paredes de alvenaria estrutural - Determinação da resistência ao cisalhamento	NBR14321	1999

Título da norma	Código	Última atualização
Paredes de alvenaria estrutural - Ensaio à compressão simples	MB2162 NBR8949	1985
Paredes de alvenaria estrutural - Verificação da resistência à flexão simples ou à flexo-compressão	NBR14322	1999
Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural - Preparo e ensaio à compressão	MB1849 NBR8215	1983
Projeto e execução de obras de concreto armado Projeto de estruturas de concreto – Procedimento	NBR6118	1980 2003
Tijolo maciço cerâmico para alvenaria	EB19 NBR7170	1983
Tijolo maciço cerâmico para alvenaria	EB19 NBR7170	1983
Tijolo maciço cerâmico para alvenaria - Forma e dimensões	PB1007 NBR8041	1983
Tijolo maciço cerâmico para alvenaria - Verificação da resistência à compressão	MB52 NBR6460	1983

Fonte: ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

Anexo II - Glossário da área de execução de alvenaria

Alvenaria estrutural – ou alvenaria armada é o tipo de alvenaria autoportante usada em edificações dispensando as estruturas convencionais (viga e pilar) e requer projetos e técnicas construtivas especiais.

Argamassa de assentamento – é a mistura de aglomerantes (cimento e cal) e agregado (areia) em traço apropriado para assentamento de tijolos cerâmicos ou blocos de concreto.

Escantilhão – é uma régua de madeira ou metálica de comprimento igual ao pé-direito, com dispositivos que permitem a graduação das fiadas nas alturas desejadas. Os escantilhões, se bem utilizados (pessoal treinado) pode promover grandes ganhos em termos de produtividade e de qualidade (prumos e níveis).

Estuque – tipo de alvenaria artesanal que utiliza argamassa mista ou gesso sobre telas de arame ou ripas finas de madeira.

Facear – é o procedimento de alinhamento vertical dos tijolos em uma das faces, geralmente a externa, para compensar possíveis diferenças de dimensões dos tijolos.

Ferros-cabelo – são armaduras fixadas nos pilares e que se estendem nas fiadas da alvenaria.

Fresador ou frisador – ferramenta manual utilizada para dar acabamento nas juntas em alvenaria aparente.

Graute – tipo de concreto com agregados em dimensão reduzida (areia e pedrisco) utilizado para preencher o vazio das peça armadas (blocos e tijolos) na alvenaria estrutural. Na composição de graute pode-se usar cal hidratada (10% do volume do cimento).

Marcação ou locação – é a colocação das primeiras fiadas das paredes com a marcação dos vãos, sendo executadas com grande cuidado para obedecer o projeto. A marcação é geralmente feita pelo mestre junto com pedreiro responsável pelo levantamento das paredes com o uso de esquadros, réguas, níveis de mangueira e bolha, linhas e prumos. Em grandes obras deve-se usar equipamentos topográficos (teodolito e nível).

Marcos ou aduelas – são 6 tacos de madeira chumbados nas laterais dos vãos de portas com a finalidade de servir como elemento de ligação da alvenaria e o caixão da porta.

Nível de mangueira – é a ferramenta simples constituída de uma mangueira transparente (diâmetro de até 13 mm) cheia d'água utilizada para marcar e controlar o nível (cotas) nos vários pontos da obra. Pode ser substituída pelo nível de tambor que utilizam o mesmo princípio, embora com mais segurança nas marcações.

Prumada – é o alinhamento vertical da alvenaria, termo empregado pelo pessoal de obra para designar a necessidade de fazer ou verificar o alinhamento utilizando o prumo de pedreiro.